Jurnal InTent, Vol. 5, No. 1, Januari – Juni 2022 P - ISSN : 2654 – 9557
E – ISSN : 2654 – 914X

PERANCANGAN 3D PRINTER JENIS CARTESIAN MENGGUNAKAN METODE CPM (*CRITICAL PATH METHOD*)

Wawan Gunawan[1], Tatan Zakaria[2], Frida Wurdhianto[3]

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya
Jl. Ciwaru Raya II No 73, Kel. Cipare, Kec. Serang, Kota Serang 42117

wawangunawan@unbaja.ac.id[1] , tizet.tasmal@gmail.com[2]

ABSTRACT

A product that will be mass-produced will really need a prototype model as an illustration to meet the desired criteria, one method in making a product is the Additive Manufacturing technique, namely the technique of printing three-dimensional objects by adding material in layers. The Cartesian 3-dimensional printer works by moving each axis angle linearly. The results obtained from this study are a prototype of a Cartesian 3-dimensional printer measuring 44cm x 48cm x 40cm which can be used to print 3-dimensional objects using a filament with the type of PLA (PolyLatctic Acid) with a maximum print volume of 20cm x 19cm x 14cm and a total cost of 20cm x 19cm x 14cm, and there are 3 types of defects or defects in the product printed by the printer, namely the layer does not stick, the surface is rough, and the shape does not match. The CPM method is used to determine the activity scheduling process as well as the critical path contained in the process of designing this Cartesian 3-dimensional printer, and the critical path that exists in the process of designing this Cartesian 3-dimensional printer is in the activities: A – B – C – F – G – H – I – J – K – L – M with the longest settlement time of 27 days.

Keywords: *Cartesian 3D Printer, Prototyping, Additive Manufacturing, CPM*

ABSTRAK

Sebuah produk yang akan diproduksi secara massal akan sangat memerlukan sebuah model prototype sebagai gambaran untuk memenuhi kriteria yang diinginkan, salah satu metode dalam pembuatan sebuah produk adalah dengan teknik Additive Manufacturing, yaitu teknik mencetak objek tiga dimensi dengan cara menambahkan material secara berlapis lapis. Printer 3 dimensi model Cartesian bekerja dengan menggerakkan tiap sudut axis secara linear. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu sebuah prototype printer 3 dimensi jenis Cartesian berukuran 44cm x 48cm x 40cm yang dapat digunakan untuk mencetak objek 3 dimensi menggunakan filament dengan jenis PLA (PolyLatctic Acid) dengan volume cetak maksimal 20cm x 19cm x 14cm, serta ada 3 jenis defect atau cacat pada produk hasil pencetakan printer tersebut yaitu layer tidak menempel, permukaan kasar, dan bentuk tidak sesuai. Metode CPM digunakan untuk mengetahui proses penjadwalan aktivitas serta jalur kritis yang terdapat pada proses perancangan printer 3 dimensi jenis Cartesian ini, dan jalur kritis yang ada pada proses perancangan printer 3 dimensi jenis Cartesian ini berada pada kegiatan: A – B – C – F – G – H – I – J – K – L – M dengan waktu penyelesaian paling lama yaitu 27 hari.

***Kata kunci**: 3D Printer Cartesian, Prototyping, Additive Manufacturing, CPM*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya teknologi, dunia industri pun terus mengalami perkembangan yang cukup pesat, terutama industri yang bergerak di bidang manufaktur. Sebuah produk yang akan diproduksi secara massal akan sangat memerlukan sebuah model *prototype* sebagai gambaran untuk memenuhi kriteria yang diinginkan dan siap untuk diproduksi secara massal. Dengan demikian Printer 3D saat ini sudah menjadi kebutuhan utama dalam dunia industri, hal ini terkait tuntutan konsumen yang meminta *prototype* terlebih dahulu sebelum di produksi secara massal. Kualitas *prototype* yang dibuat akan menjadi daya tarik akan tercipta komitmen konsumen terhadap produk yang dipesan.

Dalam merancang suatu produk bukan hanya hasil yang berkuailitas tetapi proses pembuatan pun harus efisien dan efektif. Didalam perancangan Printer 3D ini digunakanlah metode CPM (*Critical Path Method*), tujuannya adalah untuk mengetahui jalur kritis, aktivitas apa yang harus dikerjakan terlebih dahulu, dan penjadwalan di tiap-tiap aktivitasnya sehingga aktivitas perancangan pembuatan *prototype* Printer 3D ini dapat berjalan dengan baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan

Perancangan merupakan penggambaran, perencanaan dan pembuatan sketsa atau pengaturan dari beberapa sumber daya yang terpisah ke dalam satu kesatuan yang utuh dan berfungsi (Herdiana & Nugraha, 2018).

Terdapat tiga hal yang harus diperhatikan dalam perancangan yaitu :

a. Aktifitas dengan maksud tertentu.
b. Sasaran pada pemenuhan kebutuhan manusia.
c. Berdasarkan pada pertimbangan teknologi.

2.2 Printer 3 Dimensi

Printer 3 dimensi adalah sebuah alat fabrikasi komputer dekstop atau manufaktur aditif yang digunakan untuk proses *prototyping* dimana membuat benda nyata dari desain 3D. Dengan teknologi *3D Printing*, perusahaan dapat dengan mudah bereksperimen dengan ide-ide baru tanpa banyak mengeluarkan waktu dan biaya. Hingga saat ini, teknologi *3D Printing* telah berhasil digunakan di banyak aspek industri, seperti otomotif, peralatan medis, pendidikan, arsitektur, dan luar angkasa (More, 2013).

2.3 *Additive Manufacturing*

Teknik *Additive Manufacturing* ialah teknik mencetak objek tiga dimensi (3D) dengan menambahkan material secara berlapis lapis seperti plastik, baja, dan sebagainya (Abdul & Amrullah, 2018).

2.4 CPM (*Critical Path Method*)

Tujuan dari analisis jaringan metode CPM adalah untuk menentukan jalur kritis yang dimulai dari pertama proyek dilakukan sampai selesai, karena pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang apabila pelaksanaannya terlambat akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan (Safitri, 2019).

2.5 Jaringan Kerja (*Network Planning*)

Menurut (Qomariyah & Hamzah, 2013), jaringan kerja adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam sebuah diagram *network*.

2.6 Jalur kritis

Jalur kritis adalah suatu deretan aktivitas kritis yang menentukan jangka waktu penyelesaian bagi keseluruhan proyek. (Perdana & Rahman, 2019)

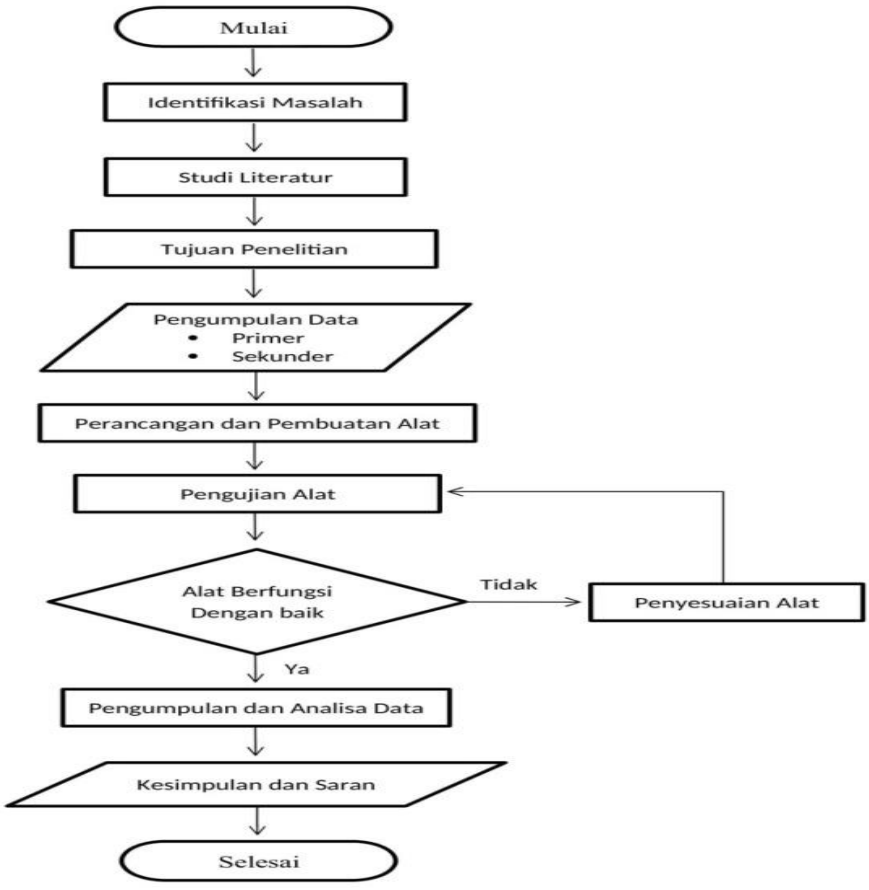
Menurut (Putra & Gandhi, 2019), untuk menentukan jalur kritis tersebut dapat diketahui dengan perhitungan maju *(forward pass)* dan penghitungan mundur *(backward pass)* dengan menghitung hal-hal berikut :

a. ES: waktu paling awal aktivitas dapat dimulai (*Earliest Start Time*).
b. EF: waktu paling awal aktivitas dapat selesai (*Earliest Finish Time*).
c. LS: waktu paling akhir aktivitas dapat dimulai (*Latest Allowable Start Time*).
d. LF: waktu paling akhir aktivitas harus selesai (*Latest Allowable Finish Time*) tanpa memperlambat penyelesaian proyek.
e. *Slack* (S) atau *Float*: Waktu bebas dari aktivitas, yang berarti waktu yang dimiliki oleh aktivitas dapat melakukan pemunduran waktu tanpa berdampak pada mundurnya waktu proyek secara keseluruhan.

Berikut ini rumus perhitungan waktu *slack*:
Slack = LS – ES atau *Slack* = LF – EF

3. METODE PENELITIAN

Diagram alir dari metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:

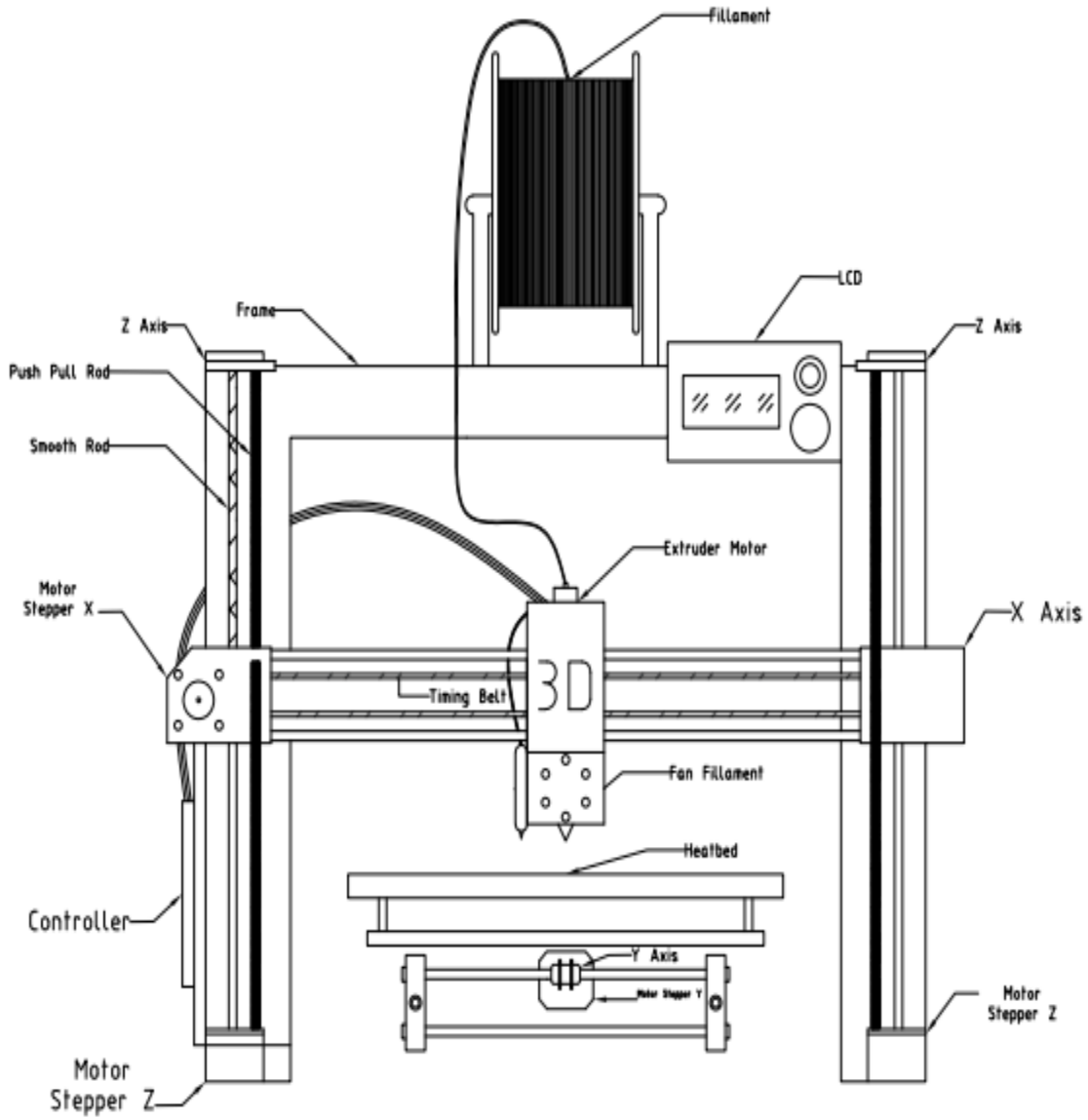


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Printer 3 Dimensi

Desain Printer 3 Dimensi dibuat menggunakan *software Autocad*, yang merupakan hasil dari pengumpulan data yang ditemukan di beberapa *website* dan forum-forum di sosial media. Berikut ini adalah desain Printer 3 Dimensi yang ingin dibuat:



Gambar 2. Desain 3D Printer

4.2 Pengumpulan Data

Data ini dikumpulkan berdasarkan kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada proses perancangan alat printer 3 dimensi jenis *Cartesian*. Dari kegiatan tersebut diperoleh data sebagai berikut:

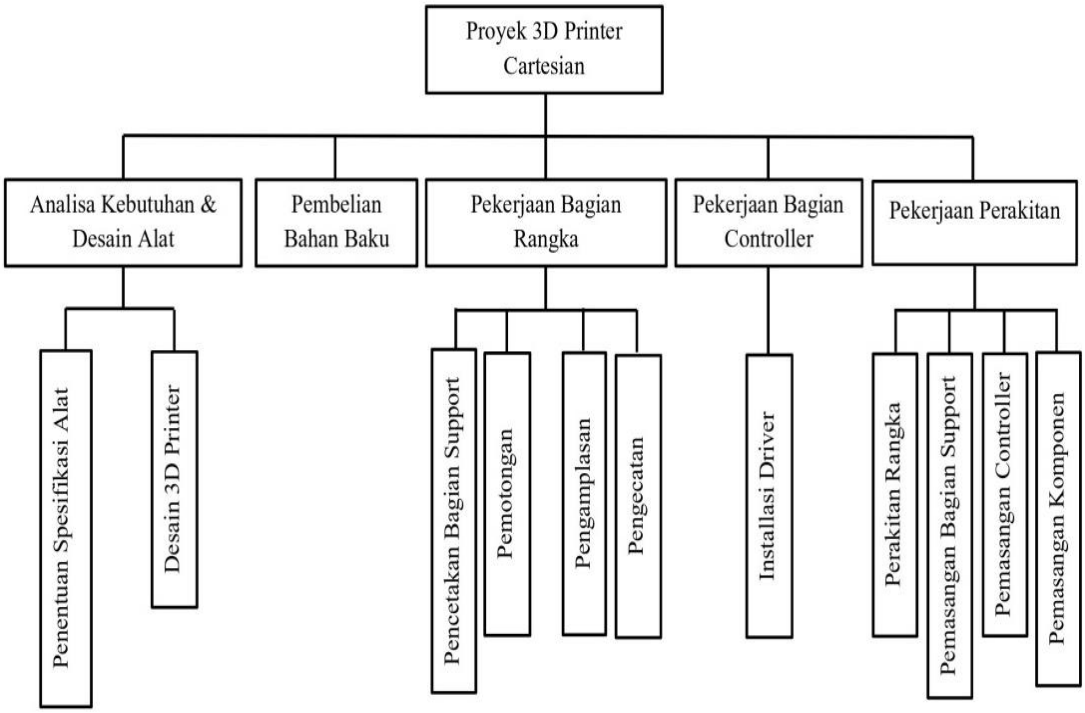
a. Analisa kebutuhan dan desain alat, meliputi:
   1) Penentuan spesifikasi alat
   2) Desain 3D Printer

b. Pembelian bahan baku
c. Pekerjaan pada bagian rangka;
   1) Pencetakan bagian *support*
   2) Pemotongan rangka
   3) Pengamplasan rangka
   4) Pengecatan rangka
   5) Perakitan rangka
d. Pekerjaan pada bagian *controller* meliputi installasi *driver*
e. Pekerjaan perakitan
   1) Perakitan rangka
   2) Penyatuan bagian *support*
   3) Pemasangan *controller*
   4) Pemasangan komponen

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 *Work Breakdown Structure* (WBS)

Work Breakdown Structure (WBS) atau pengelompokan jaringan merupakan suatu metode yang digunakan untuk memecah suatu proyek menjadi bagian-bagian proyek. Gambaran WBS pada proses perancangan alat Printer 3 Dimensi ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. *Work Breakdown Structure* (WBS)

4.3.2 *Critical Path Method* (CPM)

Setelah *Work Breakdown Structure* selesai dibuat, kemudian dilanjutkan dengan membuat urutan kegiatan. Kegiatan-kegiatan tersebut diurutkan berdasarkan *predecessor*. Adapun hubungan antar kegiatan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Urutan kegiatan perancangan printer 3 dimensi

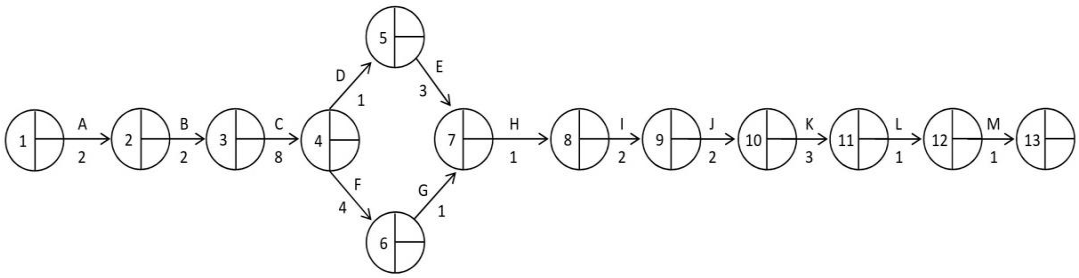
Kode	Nama Kegiatan	Kegiatan Sebelumnya	Durasi (hari)
A	Penentuan spesifikasi alat	-	2
B	Desain printer	A	2
C	Pembelian bahan baku	B	8
D	Installasi driver controller	C	1
E	Pencetakan bagian support	D	3
F	Pemotongan rangka	C	4
G	Pengamplasan rangka	F	1
H	Pengecatan rangka	E, G	1
I	Perakitan rangka	H	2
J	Pemasangan bagian support	I	2
K	Pemasangan komponen	J	3
L	Pemasangan controller	K	1
M	Finish (penyimpanan)	L	1

4.3.3 Diagram Jaringan (*Network Diagram*)

Diagram jaringan merupakan jaringan kerja yang berisi lintasan kegiatan dan urutan kegiatan yang dilakukan. Diagram jaringan pada proses perancangan alat Printer 3 Dimensi ini dibuat dengan metode *Activity on Arrow* (AOA). Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

a. Pada anak panah diberi durasi bisa berupa hari, minggu atau bulan.
b. Node melambangkan peristiwa, peristiwa yang terjadi pada node nomor 1 adalah dimulainya kegiatan sedangkan pada nomor 2 berakhirnya adalah kegiatan.
c. Istilah ES, EF dan LS, LF adalah sebuah singkatan dimana ES (*Early Start*), EF (*Early Finish*), dan LS (*Latest Start*), LF (*Latest Finish*).

Gambaran diagram jaringan dari proses perancangan alat Printer 3 Dimensi yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Diagram Jaringan (*Network Diagram*)

Dari diagram jaringan tersebut dapat diketahui terdapat dua jalur kegiatan yang dilakukan, yaitu:

a. A – B – C – D – E – H – I – J – K – L – M
   2 + 2 + 8 + 1 + 3 + 1 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 = 26 hari
b. A – B – C – F – G – H – I – J – K – L – M
   2 + 2 + 8 + 4 + 1 + 1 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 = 27 hari

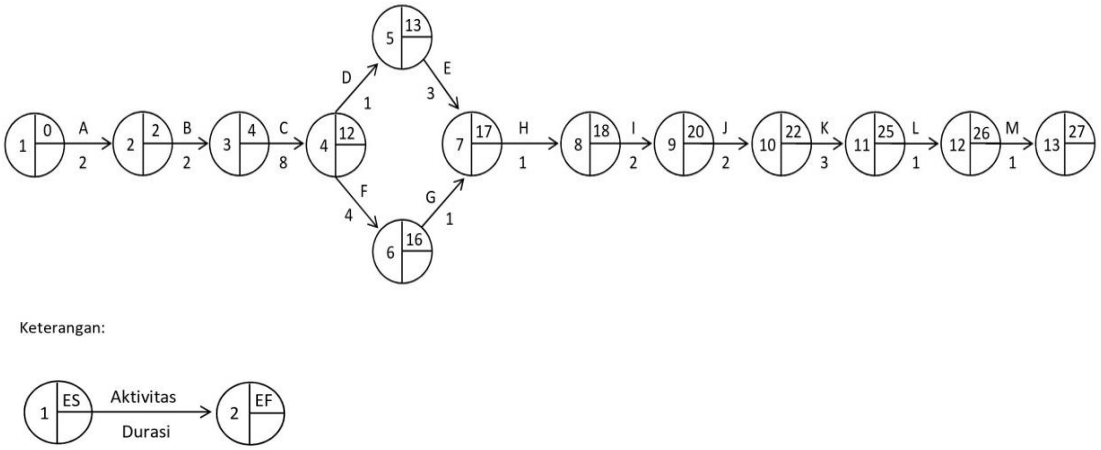
Dalam perancangan Printer 3 Dimensi ini, jalur kritisnya berada pada jalur aktivitas A – B – C – F – G – H – I – J – K – L – M dengan waktu penyelesaian proyek paling lama yaitu 27 hari. Selanjutnya untuk mengetahui aktivitas tersebut memiliki waktu longgar ataupun tidak, dapat dilakukan dengan perhitungan arah maju (*forward pass*) dan perhitungan arah mundur (*backward pass*).

4.3.4 Menghitung *Free Float* dan *Total Float*

Free Float adalah total waktu tunda aktivitas tanpa menunda mulainya aktivitas berikutnya. *Total Float* adalah total waktu tunda aktivitas tanpa menunda berakhirnya proyek.

4.3.5 Perhitungan Arah Maju (*Forward Pass*)

Perhitungan ini dilakukan dengan cara menambahkan waktu *Early Start* (ES) / *Early Finish* (EF) dengan durasi aktivitas ke-n. Untuk lebih detailnya berikut adalah diagram jaringan dari perhitungan arah maju:



Gambar 5. Perhitungan Arah Maju (*Fordward Pass*)

a. Perhitungan *Early Start* (ES):
   1) ES aktivitas A = 0
   2) ES aktivitas B
      ES (A) + d (A) = 0 + 2 = 2
   3) ES aktivitas C
      ES (B) + d (B) = 2 + 2 = 4
   4) ES aktivitas D
      ES (C) + d (C) = 4 + 8 = 12

   Dan seterusnya…

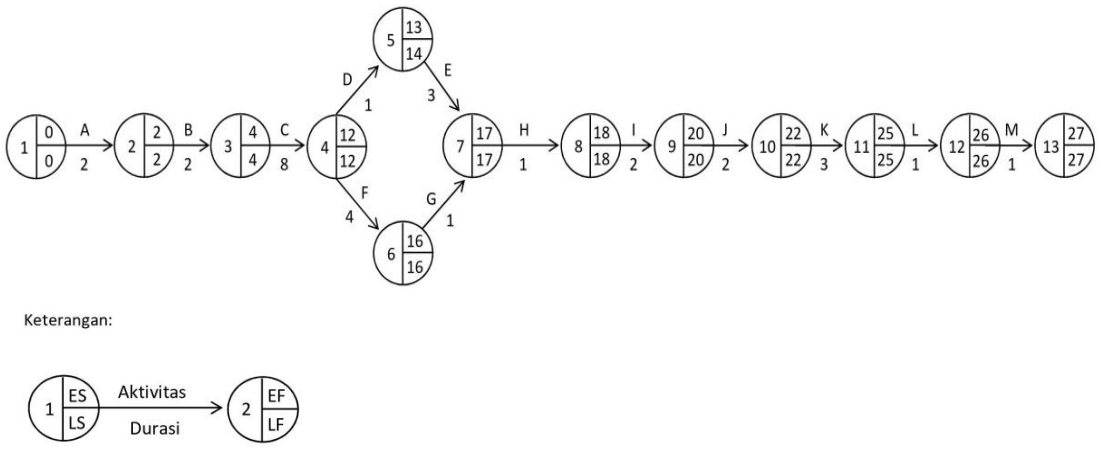
b. Perhitungan *Early Finish* (EF):
   1) EF aktivitas A
      ES (A) + d (A) = 0 + 2 = 2
   2) EF aktivitas B
      ES (B) + d (B) = 2 + 2 = 4
   3) EF aktivitas C
      ES (C) + d (C) = 4 + 8 = 12
   4) EF aktivitas D
      ES (D) + d (D) = 12 + 1 = 13

   Dan seterusnya…

Perhatikan pada node ke-7 atau ES aktivitas H, jika ada dua kegiatan seperti pada gambar 5, maka hasil penjumlahan untuk node ke-7 diambil dari hasil penjumlahan yang terbesar. Pada gambar tersebut terlihat bahwa node ke-5 atau ES aktivitas E memiliki nilai ES sebesar 13, dan node k-6 atau ES aktivitas G memiliki nilai ES sebesar 16. Selanjutnya, nilai ES (E) + d (E) = 16, dan nilai ES (G) + d (G) = 17, jadi untuk node ke-7 atau ES aktivitas H nilai ES nya adalah 17.

4.3.6 Perhitungan Arah Mundur (*Backward Pass*)

Perhitungan ini dilakukan dengan cara mengurangi waktu *Latest Start* (LS) / *Latest Finish* (LF) dengan durasi aktivitas ke-n. Untuk lebih detailnya diagram jaringan dari perhitungan arah mundur dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. Perhitungan Arah Mundur (*Backward Pass*)

P - ISSN : 2654 – 9557
E – ISSN : 2654 – 914X

a. Perhitungan *Latest Start* (LS):
   1) LS aktivitas M
      LF (M) – d (M) = 27 – 1 = 26
   2) LS aktivitas L
      LS (M) – d (L) = 26 – 1 = 25
   3) LS aktivitas K
      LS (L) – d (K) = 25 – 3 = 22
   4) LS aktivitas J
      LS (K) – d (J) = 22 – 2 = 20

   Dan seterusnya…

b. Perhitungan *Latest Finish* (LF):
   1) LF aktivitas M = 27
   2) LF aktivitas L
      LF (M) – d (M) = 27–1 = 26
   3) LF aktivitas K
      LF (L) – d (L) = 26–1 = 25
   4) LF aktivitas J
      LF (K) – d (K) = 25–3 = 22

   Dan seterusnya…

Perhatikan pada node ke-4, jika ada dua aktivitas seperti pada gambar 6, maka hasil pengurangan LS/LF untuk node ke-4 diambil dari nilai pengurangan yang terkecil. Pada gambar tersebut terlihat bahwa node ke-5 memiliki nilai LS/LF sebesar 14, dan node ke-6 memiliki nilai LS/LF sebesar 16. Selanjutnya, nilai LF (D) – d (D) = 13, dan nilai LF (F) – d (F) = 12, jadi untuk node ke-4 atau nilai LF aktivitas C adalah 12.

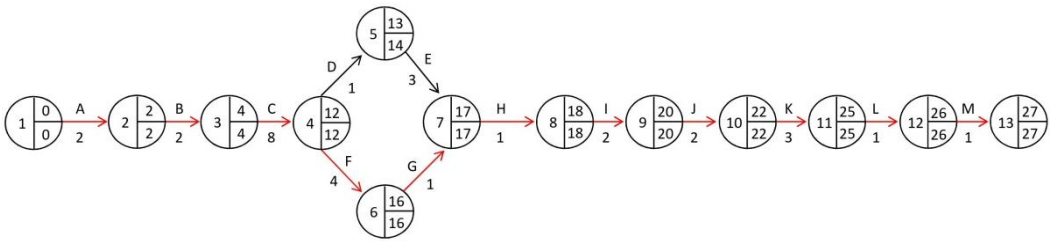
Setelah dilakukan perhitungan arah maju dan perhitungan arah mundur, dibuatlah tabel serta perhitungan *total float* dan *free float* seperti dibawah ini sebagai salah satu cara untuk mengetahui kegiatan mana yang terlibat dalam lintasan kritis.

Tabel 2. Hasil Perhitungan CPM

Aktivitas	Node	Durasi	Early		Late		Total Float	Free Float	Jalur Kritis
			Start	Finish	Start	Finish			
A	1 – 2	2	0	2	0	2	0	0	*
B	2 – 3	2	2	4	2	4	0	0	*
C	3 – 4	8	4	12	4	12	0	0	*
D	4 – 5	1	12	13	12	14	1	0	
E	5 – 7	3	13	17	14	17	1	1	
F	4 – 6	4	12	16	12	16	0	0	*
G	6 – 7	1	16	17	16	17	0	0	*
H	7 – 8	1	17	18	17	18	0	0	*
I	8 – 9	2	18	20	18	20	0	0	*
J	9 – 10	2	20	22	20	22	0	0	*
K	10 – 11	3	22	25	22	25	0	0	*
L	11 – 12	1	25	26	25	26	0	0	*
M	12 - 13	1	26	27	26	27	0	0	*

Rumus:
Total *Float* = *Late Finish* – *Early Start* – Durasi
Free Float = *Early Finish* – *Early Start* – Durasi

Jalur kritis atau *critical path* adalah jalur yang memiliki nilai *Total Float* dan *Free Float* yang sama atau = 0, artinya jalur dimana setiap aktivitas tidak memiliki waktu kelonggaran, baik *total float* maupun *free float*, dan jalur kritis yang terdapat pada perancangan alat Printer 3 Dimensi ini ditunjukkan dengan anak panah berwarna merah yang berada pada jalur kedua yaitu A – B – C – F – G – H – I – J – K – L – M dengan waktu penyelesaian paling lama yaitu 27 hari.

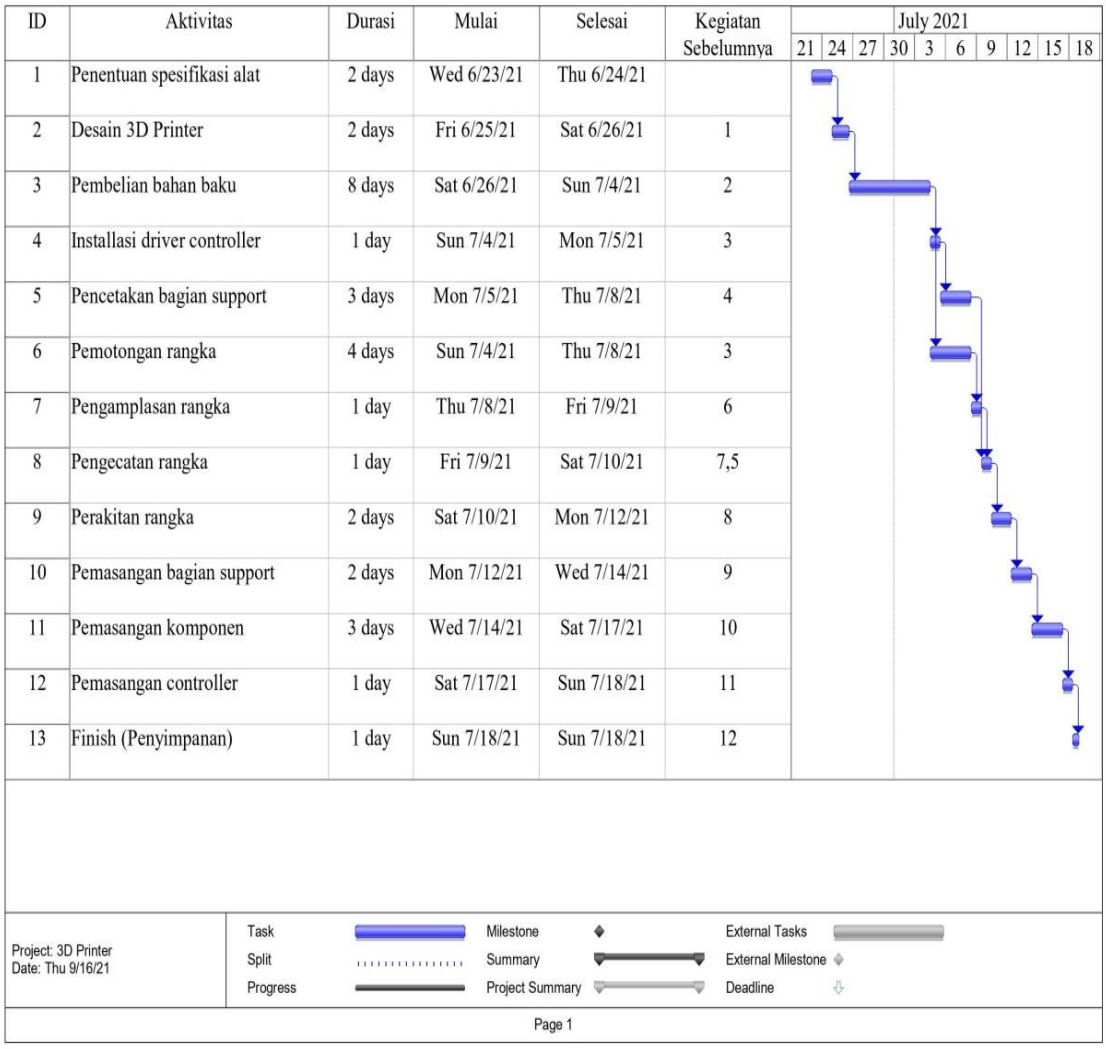


Gambar 7. Jalur Kritis

4.3.7 *Gantt Chart*

Gantt Chart merupakan suatu diagram batang yang digunakan untuk memberikan visualisasi suatu rencana proyek dari waktu ke waktu. Dalam pembuatan alat Printer 3 Dimensi ini ada beberapa aktivitas yang dijalankan setelah aktivitas sebelumnya selesai, namun ada pula yang dapat dikerjakan secara

bersamaan dengan aktivitas-aktivitas lainnya. Kegiatan ini berjalan selama 27 hari, dimulai dari tanggal 23 Juni 2021 dan berakhir pada 18 Juli 2021. Pembuatan *Gantt Chart* dalam perancangan Printer 3 Dimensi ini dapat dilihat pada gambar berikut:



ID	Aktivitas	Durasi	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelumnya
1	Penentuan spesifikasi alat	2 days	Wed 6/23/21	Thu 6/24/21	
2	Desain 3D Printer	2 days	Fri 6/25/21	Sat 6/26/21	1
3	Pembelian bahan baku	8 days	Sat 6/26/21	Sun 7/4/21	2
4	Installasi driver controller	1 day	Sun 7/4/21	Mon 7/5/21	3
5	Pencetakan bagian support	3 days	Mon 7/5/21	Thu 7/8/21	4
6	Pemotongan rangka	4 days	Sun 7/4/21	Thu 7/8/21	3
7	Pengamplasan rangka	1 day	Thu 7/8/21	Fri 7/9/21	6
8	Pengecatan rangka	1 day	Fri 7/9/21	Sat 7/10/21	7,5
9	Perakitan rangka	2 days	Sat 7/10/21	Mon 7/12/21	8
10	Pemasangan bagian support	2 days	Mon 7/12/21	Wed 7/14/21	9
11	Pemasangan komponen	3 days	Wed 7/14/21	Sat 7/17/21	10
12	Pemasangan controller	1 day	Sat 7/17/21	Sun 7/18/21	11
13	Finish (Penyimpanan)	1 day	Sun 7/18/21	Sun 7/18/21	12

Gambar 8. *Gantt Chart*

4.4 Hasil Uji Coba Pencetakan

Berdasarkan hasil dari proses uji coba dengan mencetak produk berbentuk lingkaran sebanyak 12 kali, hasil cetak dari 3D Printer yang dibuat dapat dikatakan cukup baik, hal ini ditunjukkan dengan hasil produk yang dihasilkan oleh printer tersebut memiliki persentase keberhasilan yang seimbang dengan cacat yang ditemukan. Berikut adalah hasil dari proses uji coba pencetakan produk berbentuk lingkaran:

Gambar 9. Hasil Uji Coba Pencetakan

Berdasarkan uji coba pencetakan yang telah dilakukan, ditemukan 3 jenis cacat yang berbeda pada produk, yaitu:

a. Layer tidak menempel
b. Permukaan kasar
c. Bentuk tidak sesuai

Jenis cacat layer tidak menempel menjadi prioritas nomor satu dikarenakan jumlahnya yang lebih besar dari jenis cacat yang lain.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

a. Jalur kritis yang ada pada penjadwalan aktivitas menggunakan metode CPM dapat diketahui yaitu berada pada jalur: A – B – C – F – G – H – I – J – K – L – M dengan waktu penyelesaian paling lama yaitu 27 hari.
b. Dari perancangan yang sudah dilakukan, telah berhasil dibuat *prototype* Printer 3 Dimensi jenis *cartesian* yang memiliki dimensi P x L x T sebesar 480 mm x 380 mm x 380 mm dengan bidang cetak sebesar 200 mm x 190 mm x 140 mm.
c. Jenis cacat yang paling dominan adalah layer tidak menempel. Penyebab dari cacat tersebut adalah dari faktor *machine* karena adanya masalah pada motor *Stepper* atau *Rod* dibagian Z *Axis*, atau bisa juga disebabkan oleh tahap kalibrasi *Bed* yang kurang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul, M., & Amrullah, M. (2018). *Rancang Bangun Prototipe Printer 3 Dimensi (3D) Tipe Cartesian Berbasis Fused Deposition Modelling (FDM).* Naskah Publikasi Tugas Akhir.

Herdiana, U., & Nugraha, A. R. (2018). *Rancang Bangun Aplikasi Penerimaan Pegawai di Bank BTN Kota Tasikmalaya*. *02*(01).

More, P. (2013). *3D Printing Making the Digital Real*. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 2(7), 1–4. www.ijesrt.com

Perdana, S., & Rahman, A. (2019). *Penerapa Manajemen Proyek dengan Metode CPM (Critical Path Method) pada Proyek Pembangunan SPBE*. Amaliah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 3(1), 242–250. https://doi.org/10.32696/ajpkm.v3i1.235

Putra, Y. E., & Gandhi, H. K. (2019). *Analysis of the Critical Path of the Flexo Machine Relocation Project with the CPM and PERT Methods*. Jurnal InTent, 2(1), 65–75.

Qomariyah, S., & Hamzah, F. (2013). *Analisis Network Planning dengan CPM (Critical Path Method) dalam Rangka Efisiensi Waktu dan Biaya Proyek. 1(4), 408–416.*

Safitri, E., Basriatia, S., & Hanum, L. (2019). *Optimasi Penjadwalan Proyek menggunakan CPM dan PDM (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Balai Nikah dan Manasik Haji KUA Kecamatan Kateman Kabupaten Indragiri Hilir)*. Sains Matematika Dan Statistika, 5 No. 2(2), 17–25.