

# PENGARUH PENAMBAHAN SISTEM IOT RASPBERRY PI TERHADAP KECEPATAN CETAK DAN TINGKAT PRODUKTIVITAS OPERATOR 3D PRINTER REPRAP

I Putu Ade Chandra Priyatna<sup>1</sup>, I G A P Raka Agung<sup>2</sup>, Yoga Divayana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus UNUD, Kampus Bukit Jimbaran, Jimbaran, Badung, Bali

[ade.chandra.priyatna@gmail.com](mailto:ade.chandra.priyatna@gmail.com), [rakaagung@unud.ac.id](mailto:rakaagung@unud.ac.id), [yogadivayana@gmail.com](mailto:yogadivayana@gmail.com)

## ABSTRAK

Printer 3D berskala desktop sebagian besar dibuat berbasis rancang bangun *open-source* dari komunitas *Replicating Rapid Prototyper* (REPRAP). Salah satu aspek yang dapat dikembangkan pada 3D printer REPRAP adalah penambahan teknologi *Internet of Things* (IoT). Maka dari itu dikembangkan sebuah sistem IoT berbasis Raspberry Pi yang diimplementasikan ke 3D printer REPRAP. Sistem IoT tersebut memungkinkan 3D Printer untuk terkoneksi ke jaringan internet dan memiliki antarmuka berbasis *website*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh implementasi sistem IoT berbasis Raspberry Pi terhadap kecepatan cetak 3D printer dan mengukur tingkat produktivitas operator 3D Printer. Pengujian dilakukan dengan mencetak empat buah objek saat 3D printer belum ditambahkan sistem IoT dan mencetak empat buah objek saat 3D printer telah ditambahkan sistem IoT. Pada pengujian didapatkan data waktu cetak setiap objek, data ini digunakan untuk membandingkan kecepatan cetak antara sebelum dan sesudah 3D printer ditambahkan sistem IoT. Selanjutnya dari pengujian didapatkan juga data waktu yang dibutuhkan operator untuk mempersiapkan dan memonitor kinerja 3D printer, data ini digunakan untuk membandingkan tingkat produktivitas operator 3D printer sebelum dan sesudah ditambah sistem IoT. Berdasarkan hasil pengujian, ditemukan bahwa 3D printer dengan sistem IoT memiliki waktu persiapan cetak lebih cepat dibanding 3D printer tanpa sistem IoT. Namun, 3D printer dengan sistem IoT memiliki waktu mesin yang lebih lama dibanding 3D printer tanpa sistem IoT. Tingkat produktivitas operator 3D printer dengan sistem IoT lebih tinggi dibanding 3D printer tanpa sistem IoT.

**Kata Kunci:** 3D Printer, Internet of Things, Raspberry Pi

## ABSTRACT

*Most of desktop-scale 3D printers are based on the open-source design of the Replicating Rapid Prototyper (REPRAP) community. One aspect that can be developed in REPRAP 3D printers is the addition of Internet of Things (IoT) technology. Therefore, a Raspberry Pi-based IoT system that can be implemented on a REPRAP 3D printer is developed. The IoT system allows the 3D Printer to connect into internet network and has a website-based interface. This study aims to compare the impact of Raspberry Pi based IoT systems implementation on the 3D printing speed and to measure productivity level of 3D printer operator. Testing is done by printing four objects when the IoT system has not been added to the 3D printer and printing four objects when the IoT system has been added to the 3D printer. In testing, the data on the printing time of each object is obtained, this data is used to compare the print speed between before and after the 3D printer was added to the IoT system. Furthermore from testing, the data of time required by operators to prepare and monitor the performance of 3D printers is also obtained, this data is used to compare the productivity levels of 3D printer operators before and after adding the IoT system. Based on the test results, it was found that 3D printers with IoT systems have faster print preparation times than 3D printers without IoT systems. However, 3D printers with IoT systems have a longer machine time than 3D printers without IoT systems. The operator productivity level for 3D printers with IoT systems is higher than 3D printers without IoT systems.*

**Keywords:** 3D Printer, Internet of Things, Raspberry Pi

## 1 PENDAHULUAN

Pencetakan 3D atau *3D printing* merupakan sebuah proses pembuatan atau pencetakan sebuah objek atau benda tiga dimensi dengan cara mendeformasi bahan (material) lalu membentuk lapisan demi lapisan sesuai dengan model digital tiga dimensi CAD (*Computer-Aided Design*)[1]. Konsep *3D printing* atau *additive manufacturing* diperkenalkan pada 1981 oleh Dr. Hideo Kodama sebagai alternatif dari *subtractive manufacturing* (*cutting, milling, sculpting*)[1]. Teknologi *3D printing* pada dunia industri berkembang sebagai media dalam pembuatan prototipe. Perkembangan teknologi internet berperan signifikan dalam pengembangan teknologi *3D printer*. Terdapat banyak situs *online* untuk berbagi dan mencari model CAD tiga dimensi salah satunya adalah *Replicating Rapid Prototyper* (REPRAP).

Pengembangan *firmware* dan *software open source* dapat lebih mudah dilakukan karena kemudahan komunikasi dalam forum-forum komunitas *online*. Selain itu perkembangan teknologi berbasis revolusi industri 4.0 (*industry 4.0*) yang bertitik berat kepada konektivitas nirkabel pada sistem, memunculkan gagasan untuk mengembangkan alat-alat yang berbasis IoT (*Internet of Things*). *Internet of Things* merupakan sebuah sistem yang terdiri dari perangkat komputer, mesin digital dan mekanik dengan identifikasi unik (UID) yang saling terhubung dan memiliki kemampuan transfer *data* melalui sebuah jaringan khususnya internet.

Keunggulan memiliki sebuah *3D printer* berskala *desktop* sekarang ini khususnya bagi kalangan *engineer* dan arsitek adalah dapat membuat objek yang kompleks dalam waktu singkat dan biaya lebih murah. Ditambah objek yang dibuat dapat diubah (*customizable*) sesuai kehendak, dan memiliki tingkat kualitas yang dapat dikontrol[2]. Hal ini sangat diperlukan pada proses *prototyping* sebuah produk, khususnya di Indonesia dimana proses *prototyping* konvensional sangat mahal dan tidak dapat digunakan oleh industri-industri

berkembang di Indonesia[3]. Namun demikian pada proses *3D printing* dengan kualitas halus (sangat baik) atau dimensi yang besar memerlukan waktu yang lama dalam prosesnya maka untuk menghindari kegagalan pengguna harus memantau proses *3D printing* secara langsung secara terus menerus atau pada interval waktu tertentu. Hal ini merupakan kelemahan dari *3D printer* REPRAP berskala *desktop*. Salah satu solusi dari permasalahan tersebut adalah implementasi sistem IoT ke *3D printer* REPRAP skala *desktop*. Tujuannya agar sebuah *3D printer* memiliki kemampuan untuk dikendalikan melalui jaringan nirkabel (*wireless*) atau *remote* melalui jaringan internet.

Perancangan *3D printer* REPRAP dengan sistem IoT menggunakan Arduino sebagai kontroler serta basis bahasa pemrograman *firmware* dari mesin *3D printer*. Untuk sistem IoT menggunakan *small-single board computer* Raspberry Pi yang menggunakan sistem operasi berbasis Linux. *Printer 3D* dapat berdiri sendiri tanpa sistem IoT, jadi sistem IoT merupakan sistem tambahan. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan pengaruh penambahan sistem IoT terhadap *3D Printer RepRap* berskala *desktop*, khususnya pada kecepatan cetak *3D printer* dan tingkat produktivitas seorang operator *3D printer*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan sistem IoT berbasis Raspberry Pi terhadap kecepatan cetak dan tingkat produktivitas operator *3D Printer* REPRAP.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Raspberry Pi 3B+

Raspberry Pi merupakan suatu seri dari *single-board computer* yang dikembangkan oleh perusahaan *Raspberry Pi Foundation* untuk mempromosikan pembelajaran tentang ilmu komputer dasar di sekolah dan negara-negara berkembang[4].

*Raspberry Pi 3 Model B+* merupakan produk paling baru dari varian *Raspberry Pi 3*, dengan menggunakan prosesor 64-bit

quad core dengan frekuensi 1.4 GHz, dilengkapi dengan wireless LAN dual-band 2.4 GHz dan 5 GHz, bluetooth 4.2/BLE[4].



Gambar 1. Raspberry Pi 3 Model B+[4]

## 2.2 RAMPS

RepRap merupakan akronim dari *replicating rapid prototyper*, adalah sebuah proyek *open-source* untuk mengembangkan printer tiga dimensi murah. Proyek RepRap dimulai pada tahun 2005 di University of Bath Inggris oleh Dr. Adrian Bowyer[5].

RAMPS merupakan singkatan dari RepRap Arduino Mega Pololu Shield merupakan *board shield* untuk Arduino Mega yang didesain untuk menyatukan seluruh elektronik atau rangkaian elektronik pada satu board untuk menghemat biaya pada pembuatan printer 3D RepRap[6].



Gambar 2. Board RAMPS 1.4[6]

## 2.3 Driver Stepper DRV8825

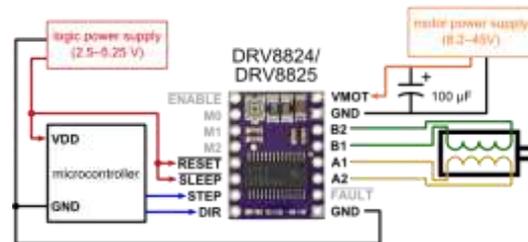
Modul DRV8825 merupakan salah satu produk modul *stepper motor driver* dari Pololu Robotics & Electronics yang dapat dipasang pada board RAMPS[7]. *Driver stepper motor* ini digunakan untuk kontrol motor stepper bipolar dengan arus sampai dengan 2.2 A per coil.

Fitur utama dari DRV8825 adalah antarmuka kontrol *step and direction* yang sederhana, enam resolusi *step*, kontrol arus *adjustable*, tegangan suplai maksimum 45V, dan proteksi *over-temperature*, *over-current*, dan *under-voltage*[7].

Driver DRV8825 memerlukan tegangan suplai untuk motor sebesar 8.2-45V yang dihubungkan melalui VMOT dan GND. Tegangan suplai tersebut harus memiliki kapasitor decoupling yang sesuai dan dekat dengan board[7].



Gambar 3. Modul DRV8825[7]



Gambar 4. Wiring Diagram Modul DRV8825[7]

Motor stepper umumnya memiliki spesifikasi besar *step* (contohnya 1.8° atau 200 *steps per revolution*), yang merupakan full-step. *Microstepping driver* seperti DRV8825 memungkinkan resolusi lebih tinggi dengan menggunakan lokasi step tengah dengan cara memberikan energi pada *coil* dengan tingkat arus menengah. Maksudnya adalah ketika menggunakan *microstepping* 1/4-step untuk *driving* motor maka motor yang memiliki spesifikasi 200 step per satu putaran 800 *microstep* per satu putaran dengan menggunakan empat tingkat arus berbeda[7].

## 2.4 Internet of Things

*Internet of Things* (IoT) merupakan sebuah sistem yang terdiri dari perangkat komputer, mesin digital dan mekanik dengan identifikasi unik (UID) yang saling terhubung dan memiliki kemampuan transfer data melalui sebuah jaringan khususnya internet[8]. Definisi ini telah berevolusi akibat dari penggabungan banyak teknologi, analisis *real-time*, *machine learning*, sensor, dan sistem *embedded*. IoT pada pasar konsumen identik dengan produk rumah pintar, yang

terdiri dari perangkat penerangan otomatis, termostat, sistem keamanan rumah, dan kamera[9].

## 2.5 OctoPrint

OctoPrint merupakan aplikasi kontrol 3D *print open-source* yang dibuat oleh Gina Häußge untuk proyek 3D *printer* pada tahun 2012. OctoPrint merupakan cabang dari aplikasi *licer* Cura, dan tersedia di bawah lisensi yang sama yaitu lisensi AGPL. Pengembangan *software* ini dipublikasikan di GitHub dengan laman repositori GitHub-nya adalah <https://github.com/foosel/OctoPrint>. Pengembangan OctoPrint didukung secara finansial melalui *crowd-funding* Patreon dan mampu memberikan dana lebih dari \$6000 per bulan.

OctoPrint menyediakan *website* sebagai antarmuka untuk kontrol 3D *printer*, memungkinkan pengguna untuk mengontrol, memulai *print*, dan *monitoring* 3D *printer*-nya melalui sebuah *website* lokal[10]. OctoPrint mampu memonitor status proses pencetakan 3D, suhu pada *print head* (pemanas filamen), dan suhu pada permukaan *printer* (*heat bed*)[10]. OctoPrint juga mampu untuk menampilkan *output* video dari *webcam* yang terhubung guna *me-monitor* proses pencetakan 3D secara visual, dan dapat memvisualisasikan G-Code proses *printing* secara tersinkronisasi atau asinkron[10].



Gambar 5. Tampilan antarmuka website OctoPrint[10]

OctoPrint dapat bekerja pada beberapa jenis sistem operasi seperti Windows, Linux, atau Mac OS[10]. Namun

OctoPrint paling populer digunakan pada Raspberry Pi dengan distro Linux dengan nama OctoPi yang berbasis Raspbian OS untuk Raspberry Pi. OS OctoPi menyediakan versi OctoPrint yang telah terkonfigurasi dilengkapi dengan dukungan *mjpeg-streamer* untuk *webcam*.

## 3 METODE PENELITIAN

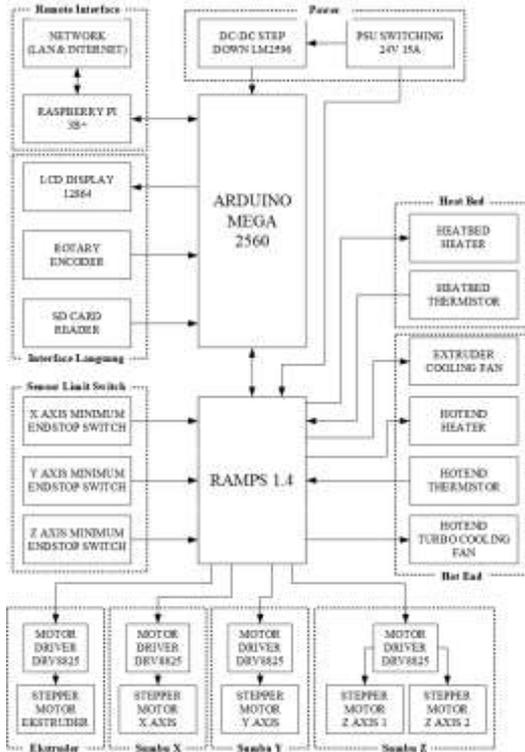
### 3.1 Perancangan Perangkat Keras



Gambar 6. Tampilan Kerangka 3D Printer

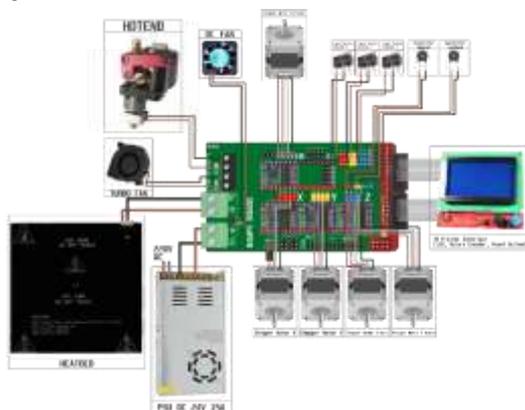
Perancangan perangkat keras dari 3D Printer dengan sistem IoT mengikuti rancang bangun 3D Printer REPRAP dengan konfigurasi tipe 3D Printer kartesian. Desain 3D Printer kartesian dipilih karena realisasinya lebih murah dibanding desain lain. Gambar 6 menunjukkan tampilan kerangka 3D Printer kartesian.

Pada desain 3D Printer REPRAP kemudian ditambahkan perangkat Raspberry Pi 3B+ yang dihubungkan ke Arduino Mega 2560 3D Printer menggunakan USB. Arduino Mega 2560 melalui RAMPS 1.4 mengontrol kerja 3D Printer secara mandiri. Kemudian Raspberry Pi 3B+ yang memungkinkan 3D Printer berkomunikasi ke jaringan internet dan memberikan antarmuka website kepada 3D Printer. Gambar 7 menunjukkan diagram blok 3D Printer dengan sistem IoT.



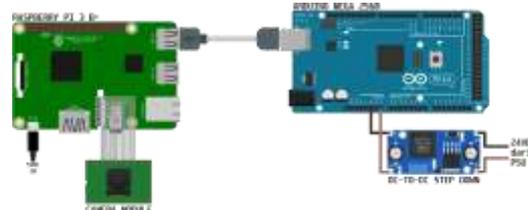
Gambar 7. Diagram blok hardware printer 3D dengan sistem IoT

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa sensor dan aktuator (motor dan heater) tidak terhubung langsung ke Raspberry Pi 3B+ namun data-data sensor dapat dibaca RasPi melalui komunikasi USB (UART) dengan Arduino Mega 2560. Perintah-perintah juga dapat dimasukkan dari RasPi yang kemudian diteruskan ke Arduino Mega 2560 untuk direalisasikan oleh aktuator (motor dan heater). Wiring diagram dari koneksi RAMPS pada 3D printer dengan sistem IoT ditunjukkan oleh gambar 8.



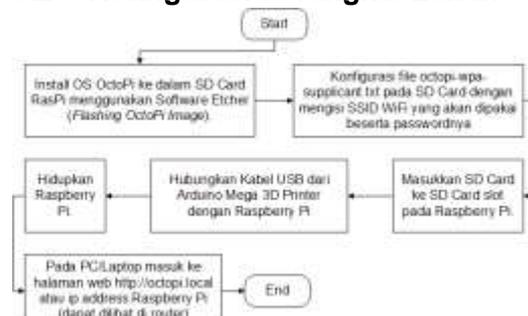
Gambar 8. Wiring dari RAMPS

Gambar 9 menunjukkan wiring diagram RasPi 3B+ dengan perangkat Arduino Mega 2560 dari 3D Printer. Kedua perangkat tersebut dihubungkan oleh USB. Terdapat juga perangkat modul kamera Raspberry Pi yang digunakan untuk memonitoring 3D printer secara visual.



Gambar 9. Wiring dari Raspberry Pi 3B+ dengan Arduino Mega 3D Printer

### 3.2 Konfigurasi Perangkat Lunak



Gambar 10. Flowchart konfigurasi OctoPrint pada Raspberry Pi

Konfigurasi perangkat lunak dari 3D Printer dengan sistem IoT merupakan konfigurasi dari perangkat lunak OctoPrint agar kompatibel dengan firmware 3D Printer yang ditambahi sistem IoT. OctoPrint adalah perangkat lunak sistem Raspberry Pi 3B+ yang merupakan sistem IoT yang dibuat untuk 3D Printer. Gambar 10 menunjukkan diagram alir konfigurasi perangkat lunak OctoPrint.

### 3.3 Metode Pengujian Hasil Cetak

Pengujian yang dilakukan adalah dengan mencetak empat pasang objek yang sama (berasal dari file yang sama) namun dengan metode berbeda. Pertama tanpa menggunakan metode IoT (manual) dan kedua dengan metode IoT (melalui antarmuka web). Dari pengujian tersebut akan didapatkan data waktu cetak dan data waktu operator 3D printer.

Objek-objek yang akan dicetak melalui 3D Printer dengan sistem IoT adalah sebagai berikut:

1. Test cube
2. Calibration Cat
3. Baut M10
4. Twisted Vase

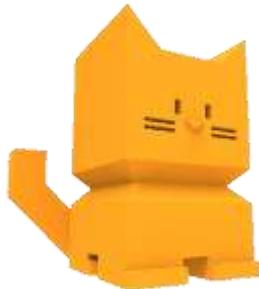
### 3.3.1 Test Cube



Gambar 11. Desain CAD 3D Test Cube

Gambar 11 merupakan desain CAD 3D *test cube* yang merupakan objek cetak pengujian 3D printer dengan sistem IoT.

### 3.3.2 Calibration Cat



Gambar 12. Desain CAD 3D Calibration Cat

Gambar 12 merupakan desain CAD *calibration cat* yang merupakan objek cetak pengujian 3D printer dengan sistem IoT.

### 3.3.3 Baut M10



Gambar 13. Desain CAD 3D Baut M10

Gambar 13 merupakan desain CAD 3D baut M10 yang merupakan objek cetak pengujian 3D printer dengan sistem IoT.

### 3.3.4 Twisted Vase



Gambar 14. Desain CAD 3D Twisted Vase

Gambar 14 merupakan desain CAD 3D *twisted vase* yang merupakan objek cetak pengujian 3D printer dengan sistem IoT.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Realisasi Hasil Perancangan

Realisasi perancangan dari 3D printer dengan sistem IoT terdiri dari realisasi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak antarmuka web.



Gambar 15. Realisasi hardware 3D printer dengan sistem IoT

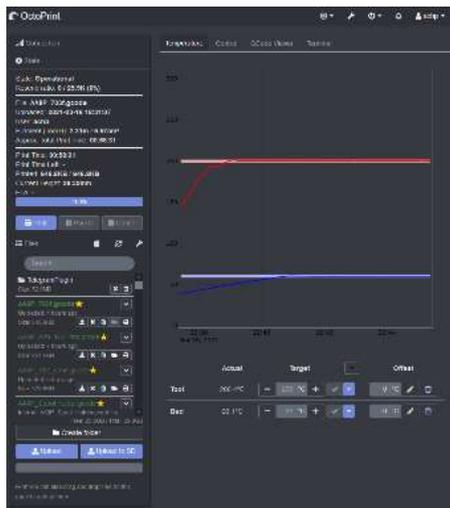
Realisasi perancangan perangkat keras 3D printer dengan fitur IoT ditunjukkan oleh gambar 15. Spesifikasi dari 3D printer dengan sistem IoT ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi 3D Printer dengan sistem IoT

Spesifikasi	Keterangan
Panjang Alat	52,3 cm
Lebar Alat	46,2 cm
Tinggi Alat	61 cm
Rating Tegangan PSU	240V 50 Hz AC
Tegangan	24 V DC ( <i>Switching</i> )

Keluaran PSU	
Arus Keluaran	15 A DC (Maks)
Penggerak Sumbu X, Y, Z	Motor Stepper 42SHDC3025-24B
Pendorong Tinta Filament	Motor Stepper 42SHDC3025-24B
Pemanas Hotend	Ceramic Catridge Heater 24 V 40 W
Pemanas Heatbed	Aluminium PCB Heater 24 V 410 W
Sensor Suhu Hotend dan Bed	Thermistor 100 KOhm NTC
Driver Stepper	DRV8825
Raspberry Pi	Raspberry Pi 3B+ 1GB
Versi Arduino	Arduino Mega 2560
Kamera	Webcam 2MP Full HD 1080p

Realisasi konfigurasi perangkat lunak antarmuka website OctoPrint pada Raspberry Pi 3B+ 3D Printer dengan sistem IoT ditunjukkan oleh gambar 16 dan gambar 17.



Gambar 16. Antarmuka web 3D Printer dengan sistem IoT bagian heater



Gambar 17. Antarmuka web Octoprint 3D Printer dengan sistem IoT bagian motor

#### 4.2 Hasil Cetak 3D Printer dengan Fitur IoT Raspberry Pi

Objek-objek hasil 3D *printing* untuk pengujian 3D printer dengan sistem IoT ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Objek hasil cetak 3D Printer

Metode Cetak	Nama File	Hasil Cetak
IoT	TA_Test1Cube	
Manual	TA_Test1Cube	
IoT	TA_Test2CaliCat	
Manual	TA_Test2CaliCat	
IoT	TA_Test3M10	
Manual	TA_Test3M10	
IoT	TA_Test4Vase	
Manual	TA_Test4Vase	

### 4.3 Pengujian Kecepatan Cetak

Hasil pengujian kecepatan cetak 3D printer dengan sistem IoT ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Data waktu cetak 3D printer

No	Metode Cetak	Nama File	Waktu Cetak		
			Persiapan	Mesin	Total
1	IoT	TA_T1Cube	00:00:22	00:46:27	00:46:49
	Manual	TA_T1Cube	00:02:11	00:46:13	00:48:24
2	IoT	TA_T2Cat	00:00:28	01:09:06	01:09:34
	Manual	TA_T2Cat	00:02:11	01:08:44	01:10:55
3	IoT	TA_T3M10	00:00:54	00:29:41	00:30:35
	Manual	TA_T3M10	00:02:11	00:29:33	00:31:44
4	IoT	TA_T4Vase	00:01:02	04:07:35	04:08:37
	Manual	TA_T4Vase	00:02:16	04:07:10	04:09:26

Dari tabel 3 data waktu cetak 3D printer dengan sistem IoT terdapat waktu persiapan, waktu mesin, dan waktu total. Waktu persiapan adalah waktu untuk mempersiapkan file yang akan dicetak sampai perintah cetak dikeluarkan. Waktu mesin adalah waktu yang dibutuhkan mesin 3D Printer untuk mencetak objek tiga dimensi sesuai dengan perintah pengguna.

Dari tabel 3 data waktu cetak 3D printer dengan sistem IoT dapat dilihat waktu persiapan apabila mencetak menggunakan metode IoT (antarmuka web) pada pengujian 1 sampai 4 selalu bertambah. Bertambahnya waktu persiapan disebabkan oleh proses unggah file yang akan dicetak, semakin besar ukuran file yang diunggah maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengunggahnya. Sedangkan waktu persiapan ketika melalui metode tanpa IoT (manual) dari pengujian 1 sampai 3 sama, namun pada pengujian 4 lebih lama 5 detik. Hal ini disebabkan oleh kecepatan transfer data dari komputer ke SD Card yaitu 1.4MByte/s.

Pada pengujian kecepatan 3D Printer dengan sistem IoT dapat disimpulkan bahwa pencetakan dengan metode IoT memiliki waktu persiapan yang lebih cepat, sedangkan waktu persiapan pencetakan melalui metode manual lebih lama. Dengan selisih waktu persiapan terkecil yaitu 1 menit 14 detik di pencetakan keempat, dan selisih waktu persiapan terbesar yaitu 1 menit 49 detik di pencetakan pertama.

Namun demikian, waktu cetak mesin ketika melalui metode IoT lebih lama dibandingkan waktu cetak mesin ketika melalui metode manual. Dengan selisih waktu mesin terkecil yaitu 8 detik di pencetakan ketiga, dan selisih waktu mesin terbesar yaitu 25 detik di pencetakan keempat.

### 4.4 Pengujian Tingkat Produktivitas Operator

Pengujian pengaruh penambahan metode IoT pada tingkat produktivitas 3D printer dilakukan dengan membandingkan *man-minute* seorang operator 3D printer yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses cetak. Operator 3D printer bertugas untuk memulai dan memonitor 3D printer. *Man-minute* merupakan besar kerja yang dapat dilakukan oleh satu pekerja biasa dalam kurun waktu satu menit.

Apabila diasumsikan seorang operator 3D printer memonitor 3D printer setiap 10 menit dari waktu cetak mesin, kemudian waktu monitor seorang operator 3D printer IoT melalui web antarmuka adalah 10 detik per monitoring, dan waktu monitor seorang operator 3D printer tanpa IoT adalah 30 detik per monitoring. Persamaan 1 menunjukkan cara menghitung banyaknya monitoring yang dilakukan pada salah satu proses cetak. Berdasarkan tabel 3 dan persamaan 1, maka waktu monitoring setiap pengujian ditunjukkan oleh tabel 4.

$$\text{Banyak monitoring} = \frac{\text{Waktu Mesin}}{10 \text{ menit}} \quad (1)$$

$$\text{Banyak monitoring} = \frac{46 \text{ menit } 27 \text{ detik}}{10 \text{ menit}} \approx 4$$

Tabel 4. Data waktu operator 3D printer

Metode Cetak	Nama File	Waktu Operator		
		Persiapan	Monitoring	Total
IoT	TA_T1Cube	00:00:22	00:00:40	00:01:02
Manual	TA_T1Cube	00:02:11	00:02:00	00:04:11
IoT	TA_T2CaliCat	00:00:28	00:01:00	00:01:28
Manual	TA_T2CaliCat	00:02:11	00:03:00	00:05:11
IoT	TA_T3M10	00:00:54	00:00:20	00:01:14
Manual	TA_T3M10	00:02:11	00:01:00	00:03:11
IoT	TA_T4Vase	00:01:02	00:04:00	00:05:02
Manual	TA_T4Vase	00:02:16	00:12:00	00:14:16

Dari tabel 4 total waktu yang dibutuhkan oleh operator untuk

menyelesaikan dan memonitor proses cetak objek melalui metode IoT lebih cepat dibanding dengan metode manual. Hal ini disebabkan operator 3D printer ketika menggunakan metode IoT hanya perlu waktu persiapan yang lebih singkat dan proses *monitoring* dengan melalui *website* antarmuka saja. Sedangkan apabila melalui metode *offline* atau manual operator membutuhkan waktu persiapan lebih lama dan proses monitor harus berada di dekat 3D printer.

Tabel 4 juga menunjukkan selisih waktu total operator 3D printer kedua metode cetak IoT dan manual. Semakin lama waktu cetak mesin maka semakin besar pula selisih waktu operator 3D printer metode IoT dan manual. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu cetak sebuah objek 3D maka semakin efisien penambahan sistem IoT pada 3D printer.

Total waktu operator merupakan waktu kerja dari seorang operator 3D printer. Maka *man-minute* dari seorang operator 3D printer sama dengan waktu total operator. Kemudian tingkat produktivitas (unit/menit) dapat dihitung sebagai berikut. Persamaan 2 menunjukkan cara menghitung tingkat produktivitas 3D printer ketika mencetak pengujian pertama cetak *TA\_T1testcube* dengan metode IoT.

$$\text{Tingkat Produktivitas} = \frac{\text{Unit}}{\text{Man-minute}}$$

$$\text{Tingkat Produktivitas} = \frac{1}{1,033} = 0,968 \text{ Unit/menit}$$

Persamaan 2 digunakan untuk menghitung seluruh tingkat produktivitas pada pengujian 1 sampai 4 menghasilkan data yang dimuat pada tabel 5 berikut.

**Tabel 5.** Data tingkat produktivitas operator 3D printer

Metode Cetak	Nama File	Man-Minute	Tingkat Produktivitas (Unit/Menit)
IoT	TA_T1Cube	1.033	0.968
Manual	TA_T1Cube	4.183	0.239
IoT	TA_T2CaliCat	1.467	0.682
Manual	TA_T2CaliCat	5.183	0.193
IoT	TA_T3M10	1.233	0.811
Manual	TA_T3M10	3.183	0.314
IoT	TA_T4Vase	5.033	0.199
Manual	TA_T4Vase	14.267	0.070

Tabel 5 menunjukkan *man-minute* dari pengujian 1 sampai 4 dan tingkat produktivitas masing-masing proses cetak baik metode IoT maupun manual. Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa proses cetak melalui metode IoT memiliki tingkat produktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan proses cetak melalui metode manual pada setiap pengujian cetak. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan sistem IoT pada 3D printer berpengaruh positif pada tingkat produktivitas operator 3D printer.

## 5 KESIMPULAN

Penambahan sistem IoT berbasis Raspberry Pi pada 3D Printer REPRAP telah berhasil dilakukan pada dua pengujian yaitu pengujian kecepatan cetak 3D Printer dan pengujian tingkat produktivitas operator 3D printer.

Penambahan sistem IoT berbasis Raspberry Pi pada 3D Printer REPRAP mempercepat waktu persiapan cetak 3D Printer. Dibuktikan dengan hasil pengujian, selisih waktu persiapan tercepat yaitu 1 menit 14 detik di pencetakan keempat dan selisih waktu persiapan terlama yaitu 1 menit 49 detik di pencetakan pertama.

Penambahan sistem IoT berbasis Raspberry Pi pada 3D Printer REPRAP memperlambat waktu cetak mesin 3D Printer. Dibuktikan dengan hasil pengujian, selisih waktu mesin terkecil yaitu 82 detik di pencetakan ketiga, dan selisih waktu mesin terbesar yaitu 25 detik di pencetakan keempat.

Penambahan sistem IoT Raspberry Pi pada 3D Printer REPRAP meningkatkan produktivitas operator 3D Printer. Dibuktikan dengan hasil pengujian, selisih tingkat produktivitas operator terkecil adalah 0.129 di pencetakan keempat dan selisih tingkat produktivitas operator terbesar adalah 0.729 di pencetakan pertama.

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shahrubudin, N. 2019. *An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications*. 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing (SMPM 2019). Pp. 1286-1296. Johor: Elsevier.
- [2] Megalingam, R. K. 2018. *Cost-effective, Custom-made, 3D Printer Design and Fabrication for Educational Purposes*. 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI 2018). Pp. 10-13. Amritapuri: IEEE Xplore.
- [3] Amrullah, M. A. 2018. Rancang Bangun Prototipe Printer 3 Dimensi (3D) Tipe *Cartesian* Berbasis *Fused Deposition Modelling* (FDM). Jurnal TeknoSAINS FTIE UTY.
- [4] Radiospares. 2020. *Raspberry Pi 3 Model B+ Data Sheet*. [Online] Tersedia di: <https://docs.rs-online.com/6b01/A700000006688936.pdf>. [Diakses tanggal 13 April 2021].
- [5] RepRap. 2018. About RepRap. [Online] Tersedia di: <https://reprap.org/wiki/About> . [Diakses tanggal 13 April 2020].
- [6] RepRap. 2018. *Arduino Mega Pololu Shield*. [Online] Tersedia di: [https://reprap.org/wiki/Arduino\\_Mega\\_Pololu\\_Shield](https://reprap.org/wiki/Arduino_Mega_Pololu_Shield). [Diakses tanggal 13 April 2021].
- [7] Pololu. 2020. *DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier, High Current*. [Online] Tersedia di: <https://www.pololu.com/product/2133/resources>. [Diakses pada 13 April 2021].
- [8] Gillis, Alexander S. 2021. *Definition: Internet of Things (IoT)*. [Online] Tersedia di: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. [Diakses pada 13 April 2021].
- [9] Laplante, Phillip A.; Kassab, Mohamad; Laplante, Nancy L.; Voas, Jeffrey M. 2020. *Building Caring Healthcare Systems in the Internet of Things*. IEEE Systems Journal. 12 (3): 3030–3037.
- [10] Häußge, Gina. 2020. *OctoPrint's documentation*. [Online] Tersedia di: <https://docs.octoprint.org/en/master/> . [Diakses pada 13 April 2021].