

INTISARI

Bagi Indonesia, fenomena revolusi industri 4.0 memberikan peluang untuk merevitalisasi khususnya sektor manufaktur dan kesehatan. Cetak gambar medis dengan *3D Printer* masih bersifat manual, yaitu masih berpengaruhnya manusia sebagai operator. Selain itu, pada sebagian besar rumah sakit atau sekolah perawat / kedokteran dilakukan oleh pihak ketiga secara manual. Pencetakan gambar medis *3D*, khususnya tulang manusia, masih menimbulkan permasalahan, yaitu: belum terintegrasinya perangkat lunak untuk proses segmentasi, rekonstruksi gambar *3D*, *resizing*, *slicing*, *generating G-Code*, dan mencetak gambar medis *3D*; keterbatasan jangkauan *interface transfers* data maupun respon feedback dari *3D printer*; serta *lead time* proses cetak gambar medis *3D* yang masih tinggi.

Faktanya, operator *CT-Scan* dan dokter umumnya kurang berpengalaman dalam mengoperasikan perangkat lunak untuk menghasilkan cetak model *3D* dari *file DICOM* (Matsiushevich et al., 2019). Proses cetak gambar medis *3D* secara manual di bagian radiologi maupun pihak ketiga dan perangkat lunak aplikasinya berdampak pada waktu pengerjaan tidak terstandar, adanya kebutuhan akan keahlian tertentu pada operator, dan antrian pesanan untuk proses pencetakan *3D* (Purnama et al., 2018; Ramola et al., 2019). Pembuatan organ tulang pada sebagian besar rumah sakit atau sekolah perawat / kedokteran dilakukan oleh pihak ketiga, yaitu: perusahaan jasa pencetakan model cetak *3D* atau Unit Pelaksana Teknis (UPT) pada institusi pendidikanpun masih manual.

Penelitian ini mencakup pengembangan proses pencetakan gambar *3D* dari hasil foto *CT-Scan* dengan file berformat *DICOM*; teknologi *3D printer* yang digunakan adalah *FDM* atau *FFF* dengan menggunakan *mikrokontrol Arduino*; bahasa perograman digunakan untuk membuat aplikasi perangkat lunak adalah *Python* dengan antarmukanya *Application Programming Interface (API)*; dan protokol internetnya adalah *Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS)*. Keaslian dari penelitian ini adalah: a) pengembangan proses cetak gambar medis *3D* dari hasil foto *CT-Scan* oleh Baumann et al. (2017) dengan mengaplikasikan komponen industri 4.0; dan b) mengintegrasikan proses segmentasi, rekonstruksi gambar *3D*, *resizing*, *slicing*, dan *generating G-Code*, yang berbasis *cloud* dan *online*. Metode yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi perangkat lunak adalah model *waterfall*. Metode pengujian dari hasil gambar medis berformat *stl* menggunakan metode kualitatif, sedangkan dari hasil cetakan *3D* menggunakan metode kuantitatif. Pengujian ini untuk memastikan bahwa produk yang dipesan konsumen telah sesuaidengan karakteristik produk yang diberikan.

Adapun peluang pengembangan untuk mencetak organ manusia buatan dengan menggunakan *3D printer*, yaitu: a) Penggunaan *3D printer* berbasis *cloud* dan *on-line* dalam dunia manufaktur (Guo & Qiu, 2018; Zhang et al, 2020); b) Komunikasi data menggunakan *Application Programing Interface*, Kartu Digital, dan kabel USB tipe-B (Baumann et al, 2017); Model pencetakan dengan menggunakan *3D printer* dengan biaya rendah pada biomedis (Fredieu et al, 2015; Carbonaro et al, 2020); d) Proses pencetakan menggunakan *3D printer* berbasis *cloud* dan *online* (Liaw & Guvendiren, 2017; Navale & Bourne, 2018). Pada penggunaan komponen Industri 4.0, yaitu: a) Pada penggunaan *AI*, hanya pada Baumann et al. (2017) tidak membahas proses segmentasi; b) Pada penggunaan *Big Data*, Chougule et al. (2018) pada *file DICOM* yang cukup besar sebagai masukkannya; c) Belum ada penelitian yang membahas penggunaan *IoT* dalam penelitiannya; d) Pada penggunaan *Cloud*, hanya pada Chongule et al. (2018) secara khusus menjelaskan dengan pendekatan RE



dan sebagai *PCD* yang mengevaluasi dari gambar medis dari *CT-Scan* ke gambar medis *DICOM*.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah: a) perangkat lunak untuk proses cetak gambar medis *3D*, khususnya tulang manusia, yaitu *3DPNet-DICOM Cloud* dapat bekerja dengan baik; b) penggunaan *3D printer* dengan perangkat lunak *3DPNet-DICOM Cloud*, sehingga aktivitas operator dapat dihilangkan; c) jangkauan *transfer* data tidak terbatas sejauh konsumen terdapat jaringan *internet* dan dengan *3D printer* menggunakan *raspberry pi 3*; d) metode pengurutan produksi menggunakan *First Come First Service*; e) pengurangan waktu proses pada *stage-1* dan *stage-2a* mengakibatkan menghilangkan kerja operator, dan pada *stage-2b* diakibatkan berkurangnya material pendukung pada proses cetak gambar *3D*; dan f) dengan menggunakan sebelas unit *3D printer*, jumlah antriannya dua belas gambar medis *3D* dan utilitas 94.65%.

Kata kunci: *3D Printer*; model tulang *DICOM*; industri 4.0; akses jaringan; *API*; berbasis *cloud* dan *online*; metode FCFS; *stereolithography*; *G-Code*.

ABSTRACT

The phenomenon of the Fourth Industrial Revolution (Industrial Revolution 4.0) gives a chance for Indonesia to revive its manufacturing and health sectors. The printing of medical images with 3D printers is still manual, which means that humans are still in charge of the process. Furthermore, it is done manually by third parties in most hospitals and nursing / medical schools. 3D printing of medical images, particularly human bones, continues to have issues, including: a lack of integrated software for segmentation, 3D image reconstruction, resizing, slicing, generating G-Code, and printing 3D medical images; a limited range of data transfer interfaces and feedback responses from 3D printers; and a long lead time for printing 3D medical images.

In fact, most CT-scan operators and clinicians are unfamiliar with using software to create printed 3D models from DICOM information (Matsiushevich et al., 2019). The process of manually printing 3D medical images in radiology and third parties, as well as their application software, has an impact on non-standard processing times, the operator's requirement for certain skills, and queues for 3D printing orders (Purnama et al., 2018; Ramola et al., 2019). Third parties, such as 3D printing model printing service firms or Technical Implementation Units (UPT) in educational institutions that are still manual, manufacture bone organs in most hospitals or nursing/medical schools.

The process of printing 3D images from CT-Scan photos with DICOM format files is being developed in this study; the 3D printer technology used is FDM or FFF with Arduino microcontroller; the programming language used to create software applications is Python with its Application Programming Interface (API); and the internet protocol is Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS). The research is unique in two ways: a) Baumann et al. (2017) developed a procedure for printing 3D medical pictures from CT-Scan photos using industry 4.0 components, and b) integrating cloud-based and online processes for segmentation, 3D image reconstruction, resizing, slicing, and creating G-Code. The waterfall model is a way for developing software applications. A qualitative method is used to test the results of medical photos in stl format, while a quantitative method is used to test the results of 3D printing. The purpose of this test is to confirm that the products ordered by customers match the product's specifications.

The following are some of the development opportunities for printing artificial human organs with 3D printers: a) The use of cloud-based and on-line 3D printers in the manufacturing world (Guo & Qiu, 2018; Zhang et al, 2020); b) Data communication using Application Programming Interface, Digital Card, and USB type-B cable (Baumann et al, 2017); Printing models using low-cost biomedical 3D printers (Fredieu et (Liaw & Guvendiren, 2017; Navale & Bourne, 2018). On the use of Industry 4.0 components, namely: a) On the use of AI, only Baumann et al. (2017) did not discuss the segmentation process; b) On the use of Big Data, only Chougule et al. (2018) on a DICOM file large enough to include it; c) There are no studies that discuss the use of IoT in their research; d) Only Chongule et al. (2018) specifically define the RE technique and as a PCD reviewing medical images from CT-Scan to DICOM medical images in the cloud.

The following are the findings of this study: a) the software for printing 3D medical images, particularly human bones, namely 3DPNet-DICOMCloud, can work well; b) the use of 3D printers with 3DPNet-DICOM Cloud software, so that: operator activity can be



eliminated; c) the range of data transfer is not limited as long as the consumer has an internet network and a 3D printer using a raspberry pi 3; d) production ordering method using First Come First Service; e) the reduction in processing time at stages 1 and 2a results in the elimination of operator work, and at stage 2b owing to reduced supporting materials in the 3D image printing process; and f) with eleven 3D printers, the queue consists of twelve 3D medical images and 94.65% utilities.

Keywords: 3D Printer; DICOM bone model; industry 4.0; network access; API; cloud and online-based; FCFS method; *stereolithography*; *G-Code*.