

**PENGEMBANGAN MATERIAL CAMPURAN BETON UNTUK  
PERENCANAAN PROTIPE MESIN 3D PRINTER RUMAH SEBAGAI  
ALTERNATIF PEMBANGUNAN RUMAH YANG LEBIH EFISIEN****(DEVELOPMENT OF CONCRETE MIXED DESIGN FOR HOME 3D  
PRINTER MACHINE PROTOTYPE PLANNING AS A MORE EFFICIENT  
HOME BUILDING ALTERNATIVE)****Riyanto Adji<sup>1</sup>, Tjong Wan Sen<sup>2</sup>, Nanang Ali Sutisna<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil-Fakultas Teknik-Universitas Presiden

Alamat korespondensi : riyanto.adji@president.ac.id

<sup>2</sup>Program Studi Informasi Teknologi-Fakultas Komputer-Universitas Presiden

Alamat korespondensi : wansen@president.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Presiden

Alamat korespondensi : nanang.ali@president.ac.id

**Abstract**

*Conventional methods of building take up a lot of time, effort and money, even the waste from construction work can also damage the environment. To overcome, the use of technology in the form of a home 3D printer machine can be used as an alternative solution in problems solving. Based on the results of research in Europe and R. R. China, the idea emerged to develop a home 3D printer machine in Indonesia. Before to create a 3D printer machine, a prototype of a home 3D printer machine was developed, the goal is that after the prototype is successful it will be developed on a large scale, because the business opportunity and the opportunity to fulfill the needs of homes in Indonesia are very high. The method in this research is Research and Development with the aim of producing certain products, and testing the effectiveness of these products. The steps taken in this research include designing a 3D printer controller software development, developing a 3D printer engine frame, developing concrete mix materials. The result of this research is obtained the analysis of software and hardware requirements. For software needs, a method for operating a 3D printer is generated using WiFi. For hardware needs, there are two, first, the design of the engine frame and the driving motor which still needs to be tested, second, the composition of the concrete mixture with mixed materials: cement, husk ash, flyash, microsilica, coarse aggregate. The type of mix concrete design made two samples with a composition of 30%: 70% and 15: 85%, and the results of the concrete compressive test after 28 days were 17.250 MPa, with a composition of 15%-85%.*

**Keywords: 3D printer, prototype, concrete mix design, concrete compression test.****Abstrak**

Metode konvensional dalam membangun rumah banyak menyita waktu, tenaga dan biaya, bahkan limbah dari pekerjaan konstruksi juga dapat merusak lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka pemanfaatan teknologi berupa mesin 3D printer rumah dapat dijadikan solusi alternatif dalam menyelesaikan permasalahan tersebut. Pengembangan mesin 3D printer di eropa dan R. R. Tiongkok sudah dikembangkan dan terbukti lebih cepat pengerjaannya, tenaga kerja yang digunakan sedikit, biaya lebih murah dan limbah yang dihasilkan juga tidak banyak. Berdasarkan hasil penelitian di eropa dan R. R. Tiongkok inilah muncul ide untuk mengembangkan mesin 3D printer rumah di Indonesia. Sebelum terlalu jauh menciptakan mesin 3D printer rumah, maka kami ingin membuat prototipe dari mesin 3D printer rumah, tujuannya setelah prototipe berhasil baru akan dikembangkan kedalam skala besar, karena peluang bisnis, dan peluang pemenuhan kebutuhan rumah di Indonesia sangat tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* dengan tujuan untuk menghasilkan

Please cite this article as:

Adji, Riyanto., Sen, Tjong Wan., Sutisna, Nanang Ali. (2021). Pengembangan Material Campuran Beton untuk Perencanaan Prototipe Mesin 3D Printer Rumah Sebagai Alternatif Pembangunan Rumah yang Lebih Efisien. *Media Teknik Sipil*, 19(2), 105-115. doi:<https://doi.org/10.22219/jmts.v19i2.17451>

produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain membuat perancangan pengembangan perangkat lunak pengendali 3D printer, pengembangan kerangka mesin 3D printer rumah, pengembangan material campuran beton. Hasil dari penelitian ini adalah diperoleh analisis kebutuhan software dan hardware. Untuk kebutuhan software dihasilkan cara pengoperasian mesin 3D printer rumah menggunakan WiFi. Untuk kebutuhan hardware ada dua, pertama perancangan kerangka mesin dan motor penggerak yang masih perlu dilakukan berbagai pengujian, kedua, komposisi campuran beton dengan baha campur: semen, abu sekam, *flay ash*, mikrosilika, agregat kasar. Jenis mix concrete design dibuat dua sampel dengan komposisi 30% : 70% dan 15 : 85%, dan hasil uji tekan beton setelah berumur 28 hari adalah sebesar 17,250 MPa yaitu pada beton dengan komposisi 15% 85%.

**Kata kunci:** 3D Printer Rumah, Prototype, Concrete Mix Design, Uji Tekan Beton.

## PENDAHULUAN

Sejak dikembangkan oleh Charles W. Hull pada tahun 1984, yaitu dengan mengembangkan 3D printing terus mengalami kemajuan dan berbagai gebrakan telah dilakukan seperti pembuatan kaki palsu di tahun 2008. Saat ini, kemajuan teknologi 3D printer telah merambah keberbagai bidang, seperti kedokteran, bidang manufaktur, bidang otomotif, dan kemajuan teknologi 3D printer juga secara perlahan telah merambah ke dunia konstruksi infrastruktur (Sobotka & Pacewicz, 2016) seperti yang dilakukan oleh perusahaan dari China bernama *WinSun Decoration Design Engineering Co* yang berhasil membangun rumah sebanyak 10 unit pada tahun 2014 dengan ukuran 100 m<sup>2</sup> menggunakan mesin 3D printing dengan waktu yang sangat singkat yaitu 24 jam, kemudian di tahun 2015 perusahaan ini membangun rumah susun enam tingkat dengan luas total 1100 m<sup>2</sup> (Hager et al., 2016).



**Gambar 1.** Rumah 3D Printing Produksi *WinSun Decoration Design Engineering Co* China

## Mesin 3D Printer Pembuat Rumah

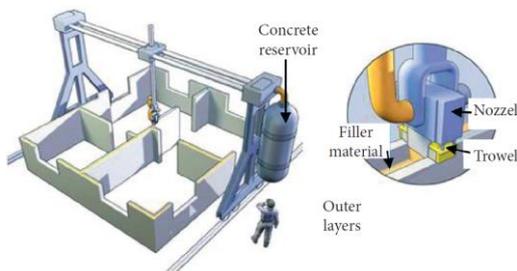
Industri rumah dengan 3D printing sudah dikembangkan oleh negara-negara

maju hasil kerjasama antara *American 3D printing company Apis Cor* and *Russian real estate developer* yang mampu membangun satu unit rumah dalam waktu 24 jam, dengan menghemat hingga 70% dari biaya konstruksi, dengan ukuran 37 m<sup>2</sup> (ARCH20, 2017). Penelitian lain, menunjukkan bahwa dari pembangunan rumah dengan 3D printing rumah pembiayaannya terdapat penurunan sekitar 45% sedangkan dalam waktu pengerjaan terdapat penurunan yang sangat luar biasa dan sampah yang ditimbulkan lebih sedikit, sekitar 60% lebih rendah (Bendix, 2019).

Inovasi dan teknologi 3D printing menjadi teknologi yang sangat menjanjikan karena dapat mengotomatiskan pekerjaan konstruksi dan dapat menghemat waktu pekerjaan, meminimalisir terbuangnya material, mengurangi kebutuhan sumber daya manusia dalam konstruksi dan meminimalisir pekerjaan yang beresiko terjadinya kecelakaan kerja bagi pekerja konstruksi. Dalam pengoperasiannya, 3D printing membutuhkan tenaga ahli dalam teknologi, karena melibatkan banyak disiplin ilmu diantaranya teknik sipil sebagai perencana konstruksinya, teknik mesin sebagai perencana motor robot berupa printer dan yang terakhir adalah komputer sebagai perencana *software* mesin 3D printingnya. (Mechtcherine et al., 2019).

### Konstruksi Mesin 3D Printer Rumah

Menurut hasil penelitian Dubalet et.al, menyebutkan bahwa sistem mesin 3D Printer Rumah yang cocok untuk proses ekstrusi beton dikategorikan menurut ukuran objek yang dicetak, ketebalan lapisan, lingkungan pencetakan, strategi perakitan, penggunaan struktur pendukung, dan kompleksitas robotik, dan alat 3D printer rumah yang digunakan adalah **Printer 3-sumbu**.



Gambar 2. 3D Printer 3-sumbu

Sedangkan hasil penelitian Nerella et.al, menyatakan bahwa ukuran mesin 3D printer rumah harus lebih besar dari ukuran rumah yang akan dicetak dengan memperhatikan fleksibilitas geometris yang tinggi, dan serta jumlah tenaga kerja terampil yang digunakan, maka dibuatlah mesin 3D Printer Rumah untuk konstruksi di tempat yaitu bernama **CONPrint3D**.



Gambar 3. Sistem CONPrint3D

### Tujuan dan Manfaat Penelitian

Pemanfaatan kemajuan teknologi 3D printer rumah di Indonesia masih belum berkembang, oleh karena itu peneliti sangat tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengembangan Mesin 3D Printer rumah untuk memenuhi kebutuhan pembangunan rumah

murah dan efisien. Pertimbangannya adalah dengan melihat peluang bisnis yang lebih menjanjikan di masa mendatang karena populasi masyarakat Indonesia yang termasuk tinggi, dan populasi ini akan berbadang lurus dengan pemenuhan kebutuhan rumah.

Berdasarkan alasan diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk membuat prototipe dari mesin 3D printer rumah, dan jika pembuatan prototipe berhasil, rencananya adalah mengembangkan mesin 3D printer yang lebih besar, sehingga dapat digunakan dalam dunia konstruksi. Dalam perencanaan prototipe untuk ada tiga hal yang perlu disiapkan yaitu *pertama*, perangkat keras berupa mesin pencetak 3D printer rumah, *kedua* software yang akan digunakan dalam mengoperasikan mesin 3D printer rumah dan yang *ketiga* adalah material campuran beton yang akan dijadikan sebagai bahan struktur bangunan rumah.

### Pentingnya Pengembangan Mesin 3D Printer Rumah di Indonesia

Mesin 3D printer rumah perlu dikembangkan di Indonesia disebabkan karena beberapa hal, diantaranya: *pertama* permasalahan klasik dalam pembangunan rumah, *kedua* tingginya populasi sehingga menuntut pemenuhan kebutuhan rumah sangat tinggi dan cepat.

### Permasalahan Klasik Dalam Pembangunan Rumah

Proses pembangunan rumah konvensional pada umumnya menggunakan konstruksi beton sebagai rangkanya, dan pasangan bata merah, atau beton ringan sebagai dindingnya, dan dalam pengerjaannya membutuhkan waktu yang cukup lama. Lamanya waktu pengerjaan berdampak pada membengkaknya biaya konstruksi yang harus dikeluarkan, selain biaya kebutuhan jumlah tenaga kerja juga cukup banyak sehingga dalam pengerjaannya kurang efektif dan efisien (Pramudiyanto et al., 2017). Selain itu, pengerjaan konstruksi secara konvensional ternyata menimbulkan masalah lain untuk lingkungan yaitu limbah konstruksi yang dihasilkan. Limbah ini bisa berupa bahan material sisa atau berupa alat bantu yang digunakan, namun hanya bersifat sekali pakai.

## Populasi dan Tuntutan Pemenuhan Kebutuhan Tempat Tinggal

Tingginya populasi di Indonesia menuntut pemenuhan kebutuhan rumah rakyat Indonesia, dan berdasarkan data pertumbuhan penduduk Indonesia semakin tahun semakin bertambah, tercatat berdasarkan hasil sensus penduduk Indonesia pada September 2020 yang dilakukan oleh pihak Kementerian Dalam Negeri bekerjasama dengan Badan Pusat Statistik tercatat total jumlah penduduk Indonesia adalah mencapai 270,2 juta jiwa, dengan sebaran per pulau adalah 56,10% di Jawa, 21,68% di Sumatera, 7,36% di Sulawesi, 6,15 di Kalimantan, 5,54% di Bali dan Nusa Tenggara dan 3,17% di Maluku dan Papua, data ini menunjukkan pertumbuhan penduduk sudah mulai tersebar merata ke berbagai pulau walaupun masih lambat (humas Setkab.go.id, 2021). Meningkatnya populasi penduduk Indonesia ini tentu akan berdampak pada pemenuhan kebutuhan tempat tinggal, dan terpenuhinya kebutuhan tempat tinggal merupakan indikator kesejahteraan bagi rakyat Indonesia. Badan Pusat Statistik Nasional memberikan data jumlah kebutuhan rumah dari tahun 2007-2017 seperti pada grafik dibawah ini.



Grafik 1. Backlog Rumah 2007-2017 (Jumlah Rumah Tangga Yang Tidak Punya Rumah Sendiri)

## Prototipe Mesin 3D Printer Rumah

Agar menjadi terarah, maka penelitian ini mencoba memberi rumusan dalam permasalahan yang akan menjadi solusi, target utama dalam penelitian ini adalah terciptanya mesin 3D printing rumah, namun mengingat biaya pembuatan mesin

tersebut tidak murah, maka dalam penelitian ini mencoba mengembangkan miniatur tiruan mesin 3D printer rumah.

Dalam pembuatan prototype 3D printer rumah ini dilakukan tiga tahap yang *pertama* adalah perancangan software sebagai control dalam pengoperasian mesin 3D printer rumah, *kedua* perancangan mesin 3D printer rumah dan *ketiga*, pengembangan campuran beton (Luo et al., 2020)..

## Pengembangan Perangkat Lunak Pengendali 3D Printer

Perangkat lunak pengendali 3D printer memiliki tugas utama sebagai pengatur proses pencetakan. Pengaturan proses tersebut dilakukan dengan memberikan sinyal-sinyal kendali, berupa sinyal digital, yang harus diberikan kepada titik-titik yang tepat pada waktu yang tepat pula. Sinyal kendali ini mengatur aktuator, yang berupa motor stepper, kapan harus bekerja (5 V) dan kapan harus berhenti (0 V). Dengan kemampuannya yang tinggi dalam hal mengatur kerja *motor stepper* secara presisi (sampai dengan sub mili meter), maka perangkat lunak pengendali 3D printer dapat dimanfaatkan untuk mencetak berbagai macam bentuk dengan mudah dan cepat (Silaban et al., 2020).

Presisi gerakan motor stepper dikendalikan oleh besar atau lebar pulsa yang digunakan (*duty cycle*). Untuk mengatur lebar pulsa, mikrokontroler atau komputer merupakan alat yang sangat tepat. Dengan kemampuan mengatur waktu sampai dengan mikrodetik dan bahkan nanodetik, mikrokontroler mampu mengatur lebar pulsa secara fleksibel dan murah. Mikrokontroler juga cukup kuat untuk dioperasikan secara nonstop selama proses pencetakan. Dengan catu daya dan sistem pendingin yang baik, akan mampu diandalkan dan tahan lama (Zhang et al., 2019).

Teknologi lain di bidang perangkat lunak terkait 3D printer adalah *slicer* atau program untuk mengubah model tiga dimensi menjadi satu himpunan perintah bagi 3D printer. Pada bagian ini, perintah

untuk menentukan posisi dimana bahan beton pada ruang tiga dimensi (x, y, z) harus ditempatkan dengan waktu yang tepat disusun (Duballet et al., 2017). Poin penting yang menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah mengembangkan perangkat lunak yang berbasis web sehingga dalam pengoperasiannya menggunakan WiFi sehingga dalam pelaksanaannya dapat didukung oleh laptop, tablet, atau smartphone.

### Pengembangan Kerangka Mesin 3D Printer Rumah

Pada pengembangan dan perencanaan kerangka prototipe mesin 3D printer bagian-bagian yang akan dikerjakan adalah *Fixed Part, Base, Gantry Assy L, Gantry Assy R, Head Assy, Miscelaneous, Control Component* dengan menggunakan bahan yaitu HGH20CA, Motor Nema 23, FK 12 FS, SFE 2025 - Nut Housing, SFU 2005 - Slide Nut, Top Plate - R, Plate - R, Plate-L, Plate-Head, Clamp Assy, Corner bracket 4040, Bolt M6, Sliding nut MM8, Raspberry Pi4 8Gb model B, Driver Nema 23, Mechanical Endstop Limit Switch Sensor, Assorted cable.

### Pengembangan Material Campuran Beton

Dalam proses pengembangan campuran material beton untuk mesin 3D printer rumah perlu diperhatikan proses pembuatan campuran beton seperti *workabilitynya, segregasi dan bleeding*. Penyusun beton umumnya adalah semen dan agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), dan air, untuk menghasilkan mutu beton yang tinggi biasanya digunakan bahan tambahan seperti *fly ash, microsilica*, dan zat *additive*, mutu beton ditentukan oleh beberapa faktor seperti mutu bahannya, perbandingan bahan-bahannya, faktor air semennya, susunan, bentuk dan ukuran dari agregat yang digunakan, kondisi ketika pembuatan serta ketika pengerasan.

Jenis beton akan dikembangkan untuk pengembangan mesin 3D printer rumah adalah beton ringan, dan pengembangan desain campuran beton ringan yang digunakan sebagai struktur sudah banyak dilakukan sebagai wujud inovasi dari perkembangan pemanfaatan keterbasan material, dan menurut ASTM C1693-11 untuk jenis beton ringan berat volume berkisar antara 400 kg/m<sup>3</sup> s/d 1900 kg/m<sup>3</sup>, disesuaikan dengan kelas kuat tekannya dengan berat beton ringan yang berkisar antara 600 – 1600 kg/m<sup>3</sup> (C1693-11, n.d.). Berdasarkan berat jenis dan kuat tekannya, beton ringan digolongkan menjadi 3 golongan (Constructor, 2021) yaitu: **pertama** *Low Density Concretes*, peruntukannya adalah beton non struktur seperti dinding pemisah/partisi, berat volumenya 300 s/d 800 kg/m<sup>3</sup> dengan kuat tekan 0,35 s/d 7. **Kedua**, *Moderate Strength Concretes* peruntukannya adalah sebagai dinding yang dapat memikul beban pada struktur ringan, berat volume 800 s/d 1350 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan 7 s/d 17 MPa. **Ketiga**, *Structural Lightweight Concretes*, golongan ini dapat digunakan seperti beton normal, berat volume 1350 s/d 1900 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan >17 MPa.

Pengembangan material campuran beton harus memenuhi persyaratan manufaktur (kemampuan cetak), tuntutan mekanis dan daya tahan yang tahan lama. (Y. Ahmed et al., 2016). Dalam beberapa studi, untuk memenuhi persyaratan tersebut, digunakan serat untuk menstabilkan campuran pada keadaan segar atau untuk meminimalkan terjadinya keretakan akibat penyusutan (Kazemian et al., 2017).

Proses yang penting dalam campuran beton adalah proses pengadukan karena harus menghasilkan adukan beton segar yang plastis, merata secara visual, memiliki konsistensi yang cukup dan homogen, dan karena direncanakan terkoneksi dengan mesin 3D printing, maka mekanisme pengadukannya menggunakan bantuan alat yaitu batching plant dengan mesin

otomatis. Agar beton segar setelah diaduk kemudian dicetak melalui pompa beton, maka hal yang perlu diperhatikan yaitu ketepatan waktu dalam menuangkan campuran beton karena ini akan berpengaruh pada hilangnya plastisitas sebelum beton segar dituangkan. Durasi waktu untuk perpindahan dari mesin pengaduk beton ke pompa harus diperhatikan, oleh karena itu faktor kemudahan pengerjaan, faktor segregasi dan faktor pengikatan beton perlu menjadi pertimbangan utama agar plastisitas beton sesuai rencana, dan untuk menjaga keplastisitasan beton gunakan *admixture*.

### Material Campuran Beton

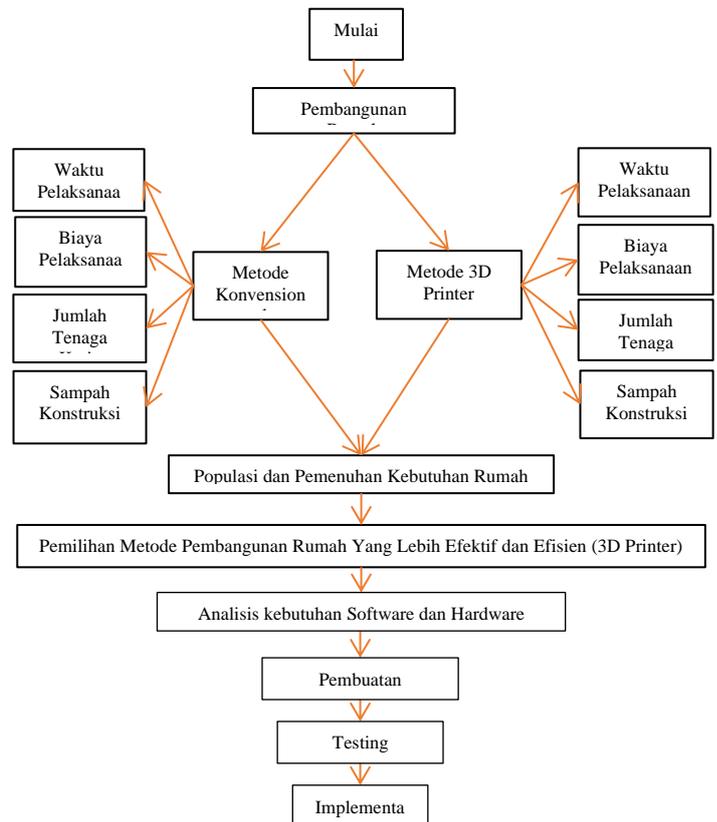
Dalam penelitian ini, material campuran beton yang digunakan adalah dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan penyusun material campuran beton sebagai pengganti agregat halus, limbah yang dipilih adalah abu sekam, serbuk hasil pembakaran batu bara (*flyash*), dua jenis limbah ini sangat banyak dijumpai di Indonesia. Material lainnya adalah semen, dan mikro silica. Dengan analisa mix design beton dan pelaksanaan pengujian beton dengan kuat tekan pada usia 28 hari adalah 17 MPa.

### METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* yaitu metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut, dan dalam penelitian ini terdapat tiga pengembangan produk secara parallel. **Pertama**, studi literature mengenai perbandingan antara pekerjaan konstruksi metode konvensional dengan metode menggunakan teknologi mesin 3D printer. **Kedua**, pengembangan perangkat lunak 3D Printer dengan metoda Rapid Aplication Development (RAD). **Ketiga**, pengembangan perencanaan rancang bangun prototipe mesin 3D printer rumah. **Keempat**, pembuatan material campuran

beton dan pengujian beton. (Mulyana, 2020).

Secara bagan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Bagan Metode Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Studi Literatur Perbandingan Pembangunan Rumah Metode Konvensional dengan Mesin 3D Printer

Dalam pembangunan rumah, beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti lama waktu pelaksanaan, biaya pembanguna dan jumlah tenaga kerja. Struktur penguat dalam sebuah rumah umumnya menggunakan beton bertulang, dan proses pembuatannya tidak dapat dilaksanakan langsung, melainkan harus bertahap, dan untuk pemasangan dinding, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Andi Pramudiyanto dkk tercatat lama pelaksanaan pekerjaan dinding dengan bata merah per m<sup>2</sup> 42.247 menit, sedangkan dengan menggunakan beton ringan per m<sup>2</sup> 25.966 menit (Pramudiyanto et al., 2017). Lamanya

pengerjaan akan berbanding lurus dengan biaya yang harus dikeluarkan (Cahyo, 2016), menunjukkan bahwa, untuk pemasangan bata merah biaya per m<sup>2</sup> Rp. 69.122,53 /m<sup>2</sup>, sedang jika menggunakan beton ringan per m<sup>2</sup> Rp. 83.125,03 /m<sup>2</sup>. Ukuran rumah dan detail serta bahan yang digunakan menentukan lama waktu pekerjaan, hasil beberapa survey yang dilakukan di kota Bandung diperoleh data bahwa untuk rumah sederhana butuh waktu sekitar 3 - 4 bulan, ukuran rumah sedang sekitar 4 - 6 bulan, dengan biaya rata-rata per m<sup>2</sup> adalah sekitar Rp 3.000.000,-, maka untuk pembangunan rumah ukuran 36 m<sup>2</sup> membutuhkan biaya sebesar Rp. 108.000.000,-.

Tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian pembangunan rumah sederhana yang dilakukan peneliti di wilayah Bandung dengan ukuran rumah sederhana 36 m<sup>2</sup>, dengan durasi pelaksanaan pekerjaan adalah 16 minggu atau sekitar 3,5 bulan, dengan jumlah tenaga kerja 3 tukang, 5 pekerja, 1 mandor dan hasil perhitungan biaya pelaksanaan adalah sebesar Rp. 149.034.000,-. Dengan rincian sebagai berikut

Sedangkan jika kita mengacu pada hasil pengerjaan yang dilakukan perusahaan *WinSun Decoration Design Engineering Co China* (Hager et al., 2016) dengan menggunakan mesin 3D printer dan ukuran rumah lebih besar yaitu dengan panjang 4 m, lebar 10 m, dan tinggi 10 m, dicetak dengan cara per layer, dan untuk satu unit rumah dilaksanakan selama 24 jam dengan total biaya adalah sebesar 4.800 US\$ atau sekitar Rp. 69.561.600,-.

### **Populasi dan Pemenuhan Kebutuhan Rumah**

Data Badan Pusat Statistik (bps.go.id, 2020) menunjukkan bahwa persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap hunian yang layak dan terjangkau menurun drastis dari 95,70% di tahun 2018 menjadi 56,51 % di tahun

2019. Kenyataan langsung direspon oleh presiden Jokowi dan presiden menargetkan pembangunan sejuta rumah dan hingga kuartal 1 tahun 2021 telah terealisasi 164.071 unit rumah untuk seluruh Indonesia (Kompas.com, 2021), dan jika laju pertumbuhan penduduk misalnya 1 %, maka per tahun ada penambahan 2.7 juta penduduk, dan jika satu KK terdiri dari 4 orang, maka kebutuhan rumah yang perlu dipenuhi adalah 625.000 unit rumah setiap tahunnya, dan jumlah jumlah kebutuhan rumah akan bertambah jika *backlog* dan rehab rumah yang rusak ikut dihitung.

Salah satu acuan dalam pemenuhan kebutuhan rumah karena meningkatnya populasi, namun biaya yang dikeluarkan dapat diminimalisir dengan waktu pengerjaan yang lebih cepat dari metode pengerjaan konvensional, selain itu sampah kontruksinya yang dihasilkan karena dapat mempengaruhi lingkungan seperti penelitian di Nigeria dalam memenuhi kebutuhan rumah untukarganya (Afolabi et al., 2019).

### **Analisis Kebutuhan Perancangan Software dan Hardware**

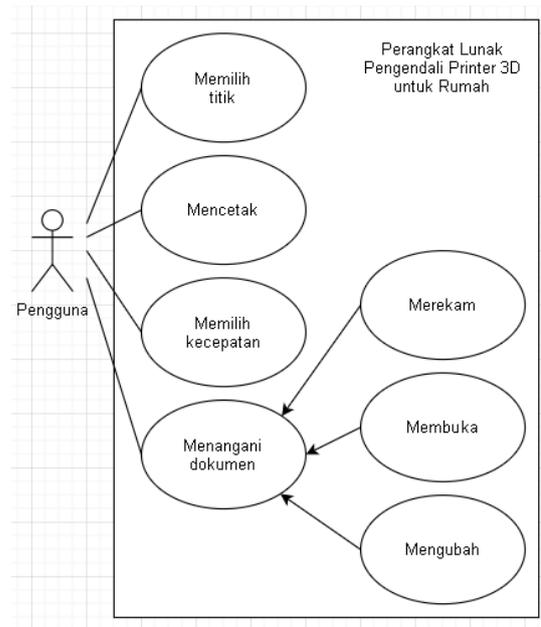
#### **Rapid Application Development (RAD)**

Perangkat lunak pengendali printer dikembangkan melalui metoda *Rapid Application Development (RAD)*. Metoda ini tepat untuk digunakan dalam pengembangan perangkat lunak dalam penelitian ini karena memungkinkan untuk mempercepat waktu penyelesaian dan sekaligus membuka ruang interaksi bagi semua pihak yang terkait secara intens dan incremental (Achdianto et al., 2019). Waktu yang lebih cepat diperlukan karena perkembangan teknologi di bidang ini sangat cepat dan ruang interaksi antar pihak terkait menjadi wajib karena melibatkan lintas program studi dengan disiplin ilmu masing-masing yang berbeda meskipun masih terkait dengan erat.

Spesifikasi perangkat lunak pengendali printer yang dikembangkan, berdasarkan hasil tahap analisis kebutuhan, adalah sebagai berikut:

1. Perangkat lunak mampu mengendalikan printer untuk mencetak dengan fleksibel, baik otomatis ataupun titik demi titik secara manual. Fitur ini sangat bermanfaat untuk mendukung eksperimen terkait karakteristik bahan dan komposisi yang akan digunakan.
2. Perangkat lunak mampu mengendalikan kecepatan proses pencetakan, dapat diprogram waktunya. Fitur ini juga bermanfaat untuk mendukung eksperimen terkait komposisi campuran bahan.
3. Perangkat lunak mampu merekam/mendokumentasikan aktivitas pencetakan ke dalam bentuk Dokumen, misalnya untuk proses selanjutnya seperti pengulangan. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk menyimpan, membuka kembali, dan melakukan perubahan atas dokumen.
4. Untuk kemudahan pengoperasiannya, antarmuka perangkat lunak dibuat berbasis web melalui WiFi sehingga mendukung laptop, tablet, maupun smartphone.

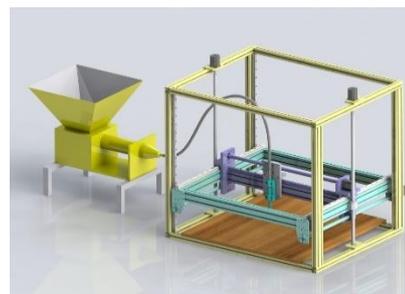
Berikut ini adalah diagram use case untuk perangkat lunak yang dikembangkan dalam penelitian ini:



Gambar 5. Diagram Use Case Untuk Perangkat Lunak

### Perancangan Mesin 3D Printer Rumah

Dalam perancangan dan perencanaan kerangka dan konstruksi mesin 3D printer rumah, dilakukan perakitan kerangka untuk mesin 3D printer, dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 6. Desain Kerangka Prototipe Mesin 3D Printer Rumah



Gambar 7. Proses Perakitan Kerangka Prototipe Mesin 3D Printer



Gambar 8. Proses Pengetesan Motor Penggerak Mesin 3D Printer

**Perancangan dan Perencanaan Campuran Beton, serta Pengujian Beton**

Perancangan dan perencanaan campuran beton dalam penelitian ini, agregat halus diganti oleh beberapa bahan seperti abu sekam hasil pembakaran bata merah, flyash dan mikrosilika. Untuk agregat kasar menggunakan ukuran agregat kasar yang lolos saringan 3/8 inch, alasan memilih saringan 3/8 inch adalah karena nozel yang direncanakan dalam prototype adalah sebesar 2 cm. Langkah berikutnya adalah penghitungan nilai mix design dari campuran beton yang direncanakan, dengan terlebih dahulu melakukan pengujian SSD agregat, hasil pengujian dan perencanaan beton dapat dilihat pada table 1 berikut

Table 1. Data SSD Agregat

Berat jenis semen	3,15
Berat jenis agregat halus kondisi SSD	2,8
Berat jenis agregat kasar kondisi SSD	2,6
Kadar air agregat halus SSD	1,70%
Kadar air agregat halus asli	3,20%
Kadar air agregat kasar SSD	2,98%
Kadar air agregat kasar asli	0,87%
Slump	120 mm
fc	17 MPa

Pada perencanaan mix concrete design, dilakukan dua jenis komposisi, yang pertama dengan komposisi 30% : 70% dan 15% : 85%, dan hasil hitungan mix concrete designnya dapat dilihat pada table 2 berikut

Table 2. Data Mix Design (gr)

Komposisi	Dosis	
	30%:70	15%:85%
Semen	466,346	473,558
Flyash	264,199	131,199
Abu Sekam	72,054	35,782
Microsilica	144,108	71,563
Agregat kasar	1097,159	1323,143
Air	253,765	265,768
Superplasticizer	5,179	5,424

Setelah penghitungan mix concrete design dilanjutkan pengadaan bahan dan alat untuk pembuatan beton, bahan-bahan yang dibutuhkan seperti pada gambar berikut



Gambar 8. Material Agregat Halus, Semen dan SP



Gambar 9. Proses Penyaringan Agregat Kasar



Gambar 10. Proses Penimbangan Material, Pencampuran Agregat Halus, Pengadukan Beton dan Pencetakan Beton



Gambar 11. Sampel Beton Siap Diuji Tekan

Hasil pengujian beton dari dua jenis sampel yang dibuat dengan komposisi berbeda adalah sebagai berikut

Tabel 3. Hasil Uji Tekan Beton

Hari	30% : 70%	15% : 85%
H+3	4,525	5,091
H+7	5,374	9,051
H+14	8,485	15,555
H+28	9,616	17,250

Hasil uji tekan beton menunjukkan bahwa kuat tekan yang sesuai dengan kuat tekan rencana dalam jenis mix concrete design dengan komposisi 15% : 85% dengan kuat tekan sebesar 17,250 MPa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan penelitian yang dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) berdasarkan perjanjian kontrak tanggal kontrak utama: 18 Maret 2021, Jumlah kontrak utama: 310/SP2H/LT/DRPM/2021, tanggal kontrak derivatif: 4 Juni 2021, 22 Juli 2021, Jumlah kontrak derivatif:

003/SP2H/RT-JAMAK/LL4/2021,  
150/LRPMPT/VII/PresUniv/2021.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa di atas, maka dapat disimpulkan bahwa:

**Pertama**, mengenai perbandingan hasil pelaksanaan pekerjaan rumah dengan metode konvensional dengan metode mesin 3D printer menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode teknologi melalui mesin 3D printer rumah waktu pelaksanaan pekerjaan lebih cepat, jumlah tenaga kerja sedikit, biaya yang harus dikeluarkan lebih murah dan limbah konstruksi yang dihasilkan tidak terlalu banyak. **Kedua**, jika peningkatan populasi selalu naik setiap tahun, sehingga menuntut secepatnya pemenuhan kebutuhan rumah, maka mesin 3D printer rumah menjadi solusi alternative yang bagus. **Ketiga**, pengembangan software untuk pengendali mesin 3D printer rumah, dimana dalam pengoperasiannya menggunakan WiFi sehingga dalam pelaksanaannya dapat didukung oleh laptop, tablet, maupun smartphone. **Keempat**, perancangan kerangka mesin dan motor penggerak sudah tersusun, namun belum sampai finalisasi karena masih perlu dilakukan berbagai pengujian. **Kelima**, komposisi campuran beton yang memanfaatkan limbah abu sekam dan *flayash*, mikrosilika sebagai pengganti pasir dan untuk agregat kasar diambil ukuran agregat yang lolos saringan 3/8 inch. **Keenam**, dalam perancangan dan perencanaan *mix concrete design* dibuat dua jenis sampel dengan komposisi yang berbeda yaitu 30% : 70% dan 15 : 85%. **Ketujuh**, hasil uji tekan beton dari dua jenis komposisi yang di buat diperoleh hasil uji yang memenuhi rencana yaitu sebesar 17 MPa adalah beton dengan komposisi 15% : 85%.

DAFTAR PUSTAKA

- Achdianto, Cahyati, S., Triyono, & Saifudin. (2019). Integrated CAD customization system for fused deposition models in additive manufacture with 3D printing machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/694/1/012008>
- Afolabi, A. O., Ojelabi, R. A., Omuh, I. O., & Tunji-Olayeni, P. F. (2019). 3D House Printing: A sustainable housing solution for Nigeria’s housing needs. *Journal of Physics: Conference Series*, 1299(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1299/1/012012>
- Allouzi, R., Al-Azhari, W., & Allouzi, R. (2020). Conventional Construction and 3D Printing: A Comparison Study on Material Cost in Jordan. *Journal of Engineering*, 2020(Cc). <https://doi.org/10.1155/2020/1424682>
- ARCH20. (2017). *3D Printed House by Apis Cor Entirely Created in One Day*. <https://www.arch2o.com/3d-printed-house-apis-cor/>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Standard Nasional Indonesia 1726-2019 tentang Persyaratan Beton Struktur. In *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur bangunan Gedung dan Nongedung* (Issue 8).
- Bendix, A. (2019). These 3D-printed homes can be built for less than \$4,000 in just 24 hours. In *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/3d-homes-that-take-24-hours-and-less-than-4000-to-print-2018-9?r=US&IR=T>. Mar 13, 2019 [Oct. 23, 2020]
- C1693-11, A. (n.d.). *Standart Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC)*.
- Cahyo, A. D. (2016). Comparison of Costs and Time in the Implementation of the Work of Lightweight Concrete Walls and Red Brick Walls Using the Time Study Method. *Major Science and Technology Journal*, XI, 1–36.
- Duballet, R., Baverel, O., & Dirrenberger, J. (2017). Classification of building systems for concrete 3D printing. *Automation in Construction*, 83(May 2021), 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.018>
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia Engineering*, 151, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>
- Kazemian, A., Yuan, X., Meier, R., Cochran, E., & Khoshnevis, B. (2017). Construction-scale 3D printing: Shape stability of fresh printing concrete. *ASME 2017 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2017 Collocated with the JSME/ASME 2017 6th International Conference on Materials and Processing*, 2(June). <https://doi.org/10.1115/MSEC2017-2823>
- Luo, W., Ma, X., & Yin, J. (2020). Application and Research on Building 3D Printing. *Journal of Critical Reviews*, 7(12), 564–578. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.12.103>
- Mechtcherine, V., Nerella, V. N., Will, F., Näther, M., Otto, J., & Krause, M. (2019). Large-scale digital concrete construction – CONPrint3D concept for on-site, monolithic 3D-printing. *Automation in Construction* 107, 102933, 14–22.
- Muliyawan, M. D., Pramono, G. E., & Sumadi. (2017). Rancang Bangun Konstruksi rangka Mesin 3D Printer Tipe Cartesian berbasis Fused Deposition Modeling (FDM). *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(4), 252–257.
- Rhinoceros. (2020). *Grasshopper - New in Rhino* 6. <https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper/>
- Silaban, F. A., Budiyanto, S., & Raharja, W. K. (2020). Stepper motor movement design based on FPGA. *International Journal of Electrical and Computer*

*Engineering*, 10(1), 151–159.  
<https://doi.org/10.11591/ijece.v10i1.pp151-159>

Sobotka, A., & Pacewicz, K. (2016). Building Site Organization with 3D Technology in Use. *Procedia Engineering*, 161, 407–413.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.582>

Y. Ahmed, Z., P. Bos, F., J.M. Wolfs, R., & Salet, T. (2016). Design considerations due to scale effects in 3d concrete printing. *8th International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design*, 1–10.  
<http://repository.tue.nl/856943>

Zhang, D., Wang, J., Qian, L., & Yi, J. (2019). Stepper motor open-loop control system modeling and control strategy optimization. *Archives of Electrical Engineering*, 68(1), 63–75.  
<https://doi.org/10.24425/ae.2019.125980>