

Pengembangan material *Reusable Concrete* untuk 3DP Building

Andy Nurul Yunita Pettalolo^{*}, Ibnu Abdul Rosid, Alva Edy Tontowi

Jurusan Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Email Korespondensi : *andynurul94@mail.ugm.ac.id

Abstrak. Kerusakan bangunan pasca gempa bumi menghasilkan limbah berupa reruntuhan bangunan (*reusable material*) yang tidak dimanfaatkan secara maksimal, sehingga memerlukan adanya pemanfaatan limbah reruntuhan bangunan tersebut sebagai material untuk membangun bangunan baru. Pada Penelitian ini dilakukan pengembangan material bangunan untuk mesin 3D Printer dengan memanfaatkan material sisa reruntuhan (*reusable concrete material*). Pembuatan kombinasi material menggunakan design of experiment berupa 2^k factorial design dengan menggunakan 2 faktor berupa variasi penambahan air dan *superplasticizer*, dengan 2 level berupa penambahan air sebesar 15 ml dan 25 ml dan *superplasticizer* 1 ml dan 2 ml dengan respon berupa kemampuan bentuk material. Hasil penelitian didapatkan bahwa run time 1 dan 2 mampu membentuk *second layers* tetapi run time 1 adanya ketidak-kontinuan material sedangkan run time 3 dan 4 tidak mampu membentuk *second layers* sehingga run time 2 yang memiliki kontinu dan kemampuan bentuk *second layers*.

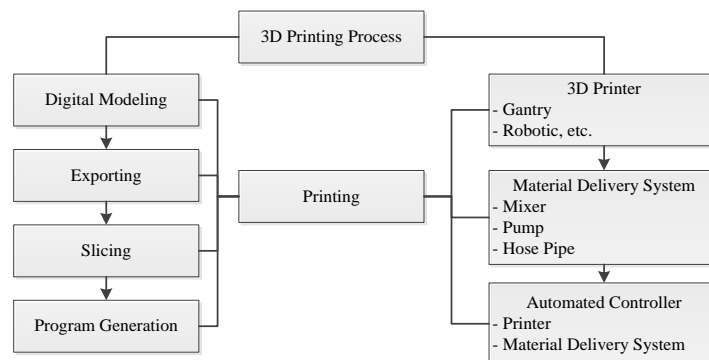
Kata kunci : *Reusable Concrete*, 3D Printer, Kemampuan bentuk.

1. Pendahuluan

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Indonesia menyatakan bahwa pada tahun 2001 hingga 2020 telah terjadi 278 peristiwa gempa bumi yang mengakibatkan sejumlah kerusakan pada bangunan [1]. Sisa reruntuhan bangunan yang diakibatkan bencana gempa bumi dapat dimanfaatkan menjadi *waste building material*. Pemanfaatan material tersebut bertujuan untuk mempercepat proses rekonstruksi bangunan dan menghemat biaya. Material sisa reruntuhan dipisahkan antara puing bangunan lainnya sebelum digunakan, sehingga dapat menghasilkan beton berkualitas tinggi dan tahan lama [2]. Pemanfaatan material sisa reruntuhan memerlukan pengolahan khusus, baik secara konvensional maupun dengan bantuan mesin. Penggunaan material sisa reruntuhan juga dapat menguntungkan pada wilayah-wilayah tertentu yang tidak memiliki sumber daya alam berupa pasir dan batu-batuan [3]

Proses pemulihan pasca gempa bumi membutuhkan waktu yang cukup lama dan menjadi penting, dikarenakan adanya kebutuhan terhadap mekanisme kerjasama yang mampu memberikan arahan pada tataran teknis dan strategis dalam melakukan rekonstruksi [4]. Contoh kasus proses pemulihan pasca gempa di Aceh dan Nias membutuhkan waktu selama 48 bulan. Hal tersebut dikarenakan proses pemulihan membutuhkan material, proses pengerjaan dan tenaga kerja [5]. Mesin 3D Printer dapat

digunakan untuk mempersingkat proses pengerjaan konstruksi bangunan yang ramah lingkungan, penggunaan biaya yang lebih rendah dan proses transportasi peralatan yang lebih mudah [6]. Mesin 3D Printer berkerja dengan cara membuat benda secara *layer by layer* [7]. Belum tersedianya material yang umum digunakan untuk mesin 3D Printer menjadi salah satu permasalahan, sehingga diperlukan pengembangan komposisi material yang dapat digunakan untuk mesin 3D Printer bangunan serta menghasilkan hasil *printing* yang optimal. Material yang diperlukan sebagai komposisi pembuatan *concrete* untuk mesin 3D Printer yaitu semen, pasir, *silica fume* dan *micro-fibres* [8]. Selain itu, teknologi 3D Printer bangunan masih memerlukan pengembangan untuk menghasilkan hasil *printing* yang inovatif dan optimal dalam proses percetakan, Skema proses 3D Printer untuk konstruksi dapat dilihat gambar 1 [8].



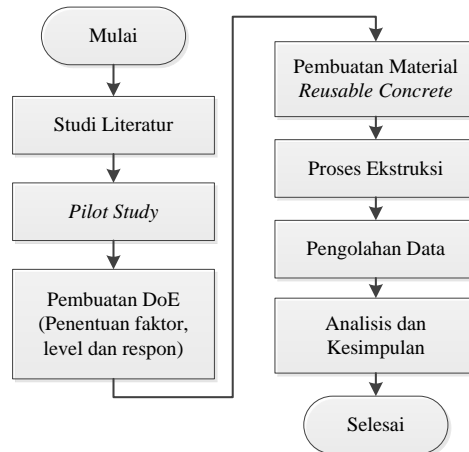
Gambar 1. Proses 3D Printer untuk konstruksi [8]

Material sisa reruntuhan bangunan akibat gempa bumi tidak dapat digunakan sepenuhnya sehingga membutuhkan bahan-bahan lain untuk dikombinasikan dengan material sisa reruntuhan bangunan agar proses rekonsruksi tidak memakan dana yang besar [3]. Sehingga pada penelitian ini membahas mengenai pengembangan material bangunan untuk mesin 3D Printer dengan memanfaatkan *reusable concrete material*, material tambahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air, semen, *reusable material*, *fly ash* dan *superplasticizer*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Desain Produk dan Bioceramics Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

2. Metode Penelitian

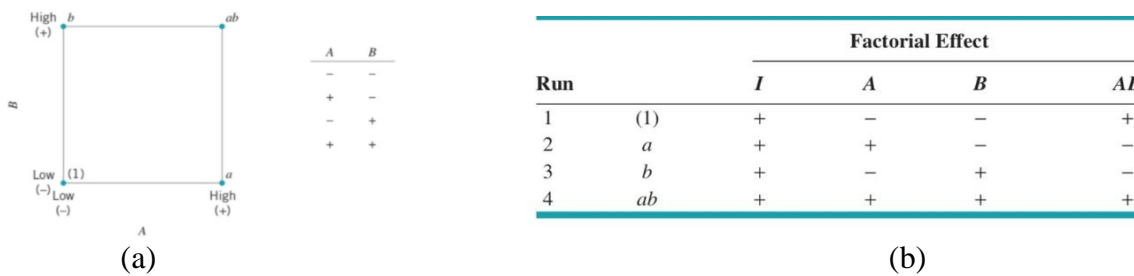
2.1. Alur penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur mengenai material dan mesin 3D Printer yang digunakan dalam proses rekonstruksi bangunan. Kemudian dilakukan *pilot study* yang didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, sehingga didapatkan kombinasi faktor, *level* dan respon. Kemudian dilakukan pembuatan *Design of Experiment* (DoE), proses pembuatan material dilakukan sesuai dengan DoE. Kemudian dilakukan proses ekstruksi dengan menggunakan *piping bag* sebagai model sistem ekstruksi pada sistem ekstruder mesin 3D Printer. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan kombinasi yang optimal dari DoE, kemudian dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Metode DoE yang digunakan yaitu 2^k factorial design untuk membuat kombinasi material (gambar 2). 2^k Factorial design berguna dalam pengembangan dan peningkatan proses [10].



Gambar 3. (a) Design geometry dan test matrix, (b) Interaksi Parameter

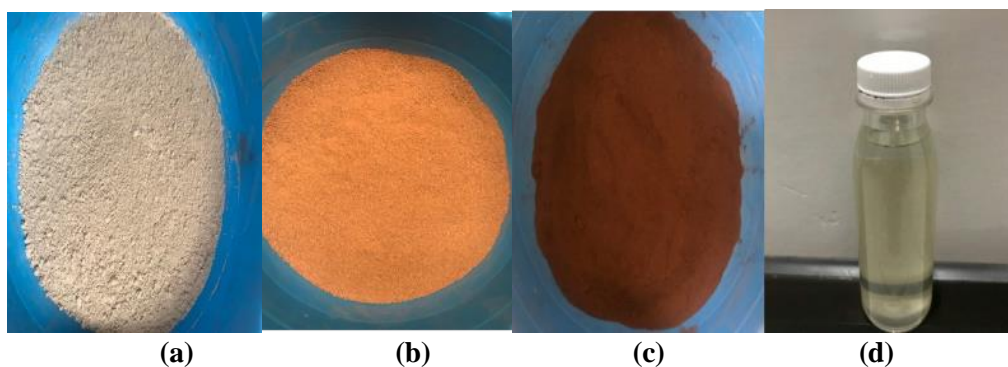
2.2. Pembuatan Material

Lee *et al.* (2012) melakukan pengembangan material untuk 3D Printer konstruksi dengan komposisi berupa *sand-binder* dengan rasio 3:2, yang terdiri dari 70% semen, 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*, dengan rasio penggunaan air sebesar 0,26 dan penambahan cairan *superplasticizer* 1 % dan *retarder* 0,5%, kombinasi campuran tersebut dapat keluar melalui *nozzle* dengan diameter 9 mm dan dapat membentuk 61 *layers* dengan kuat tekan sebesar 110 MPa [11]. Malaeb *et al.* (2015) mengembangkan material untuk 3D Printer konstruksi dengan komposisi berupa 125 gr semen, 80 gr pasir dan 160 gr agregat halus dengan perbandingan rasio w/c 0,39, *superplasticizer* sebesar 1 ml dan *accelerator* serta 0,625 ml *retarder*. Komposisi ini menghasilkan aliran yang kontinu dengan diameter *nozzle* 2 cm dan menghasilkan kuat tekan sebesar 42 MPa [12]. Pada penelitian ini menggunakan semen dan *fly ash* sebesar 45,3 % (w/w) dari agregat halus (*reusable material*), sedangkan pada penelitian Lee *et al.* (2012) komposisi semen, *fly ash* dan *silica foam* sebesar 66,67% (w/w) dari agregat (pasir). Pada penelitian Malaeb *et al.* (2015) menggunakan perbandingan semen sebesar 63,3% (w/w) dari agregat. Pada hasil *pilot study* penggunaan semen mengkombinasikan komposisi semen pada penelitian Lee *et al.* (2012) dan Malaeb *et al.* (2015) menghasilkan komposisi material untuk *reusable material* yang belum maksimal. Pada penentuan penggunaan air sebelum *resting* didapatkan komposisi air sesuai penelitian Lee *et al.* (2012) dan Malaeb *et al.* (2015), dan didapatkan hasil material memiliki viskositas yang terlalu rendah, sehingga penggunaan air dikurangi menjadi 37,5 % (v/w) dari *reusable material*, penambahan *superplasticizer* dilakukan pada tahap ini kemudian dilakukan pengadukan sampai campuran material merata/homogen.



Gambar 4. Reruntuhan bangunan Pasca Gempa Bumi

Material sisa reruntuhan bangunan akibat gempa bumi (gambar 4) dipisahkan dengan puing-puing lainnya. Kemudian dihancurkan dan diayak menggunakan *mesh* 1x1 mm sehingga dapat dijadikan agregat kasar dan halus yang dapat diolah kembali dengan tambahan material lainnya.



Gambar 5. (a) semen, (b) sisa reruntuhan (*reusable concrete material*), (c) *fly ash*, (d) *superplasticizer*

Hasil analisis penelitian yang telah dilakukan didapatkan kombinasi komposisi material (tabel 1) yang dijadikan bahan tambah untuk *main material* berupa material sisa reruntuhan (*reusable material*). Pada *pilot study* yang telah dilakukan didapatkan bahwa material dengan komposisi tersebut memerlukan proses *resting* selama 60 menit. *resting* merupakan proses mendinginkan material pada suhu ruang agar viskositas material menjadi lebih tinggi, sehingga dapat ditambahkan air untuk mendapatkan viskositas material yang menjadikan material dapat keluar dari *nozzle* dengan diameter 20 mm.

Tabel 1. Kombinasi Material *Reusable Concrete*

<i>Reusable material</i> (gr)	Semen (gr)	<i>Fly Ash</i> (gr)	Air (ml)
300	100	36	110

Adapun faktor yang digunakan yaitu variasi penggunaan *superplasticizer* sebesar dengan *level* 1 ml dan 2 ml dan variasi penambahan air dengan *level* 15 ml dan 25 ml setelah *resting* material (Tabel 2). Adapun respon yang digunakan berupa kemampuan bentuk material untuk membentuk susunan *layer by layer* secara visual.

Tabel 2. *Design of experiment*

<i>Run Time</i>	<i>Level</i>		Penambahan air	<i>Superplaticizer</i>
1	+1	+1	15 ml	1 ml
2	+1	-1	15 ml	2 ml
3	-1	+1	25 ml	1 ml
4	-1	-1	25 ml	2 ml

Proses ekstruksi dilakukan dengan menggunakan *piping bag* sebagai alat simulasi sistem ekstruksi material pada saat keluar dari *nozzle*. Diameter lubang *piping bag* sebesar 20 mm (gambar 6). Adapun pengujian dilakukan dengan membentuk 4 *layers* untuk setiap *run time*.

Piping bag ditekan untuk mengeluarkan material keluar melalui *nozzle*. Sehingga didapatkan kemampuan material untuk keluar dari *nozzle*. Proses ekstruksi diarahkan untuk melakukan *printing* berupa garis dengan membuat ketinggian yang dilakukan dengan membuat *layer*



Gambar 6. Material pada *piping bag*

3. Pembahasan

Eksperimen yang telah dilakukan dengan memberikan *treatment* yang bervariasi didasarkan pada *design of experiment* dengan menggunakan 2^k *factorial design* didapatkan hasil penelitian (tabel 3) dengan hasil visual (gambar 7).

Tabel 3. Hasil Penelitian

Run time		Kemampuan bentuk (4 <i>layers</i>)
1	+1	Ya
2	+1	Ya
3	-1	Tidak
4	-1	Tidak



Gambar 7. (a) Visual *run time* 1, (b) Visual *run time* 2, (c) Visual *run time* 3 dan (d) Visual *run time* 4

Dari hasil penelitian didapatkan hasil *printing* pada *run time* 1 dapat membentuk 4 *layers* dengan hasil berupa adanya ketidak-kontinuan material ketika proses *printing* dilakukan. Pada *run time* 2 secara visual dapat membentuk 4 *layers*. *Run time* 3 dan *run time* 4 didapatkan hasil material tidak mampu membentuk *second layer*, hal tersebut disebabkan karena material memiliki viskositas rendah yang mengakibatkan tidak membentuk *second layers*. Secara visual *Run time* 2 yang memiliki kontinuitas dan kemampuan bentuk *second layer* dengan penambahan air sebesar 15 ml dan penggunaan *superplasticizer* sebesar 2 ml.

4. Kesimpulan

Pembuatan kombinasi material menggunakan *design of experiment* berupa 2^k *factorial design* dengan menggunakan 2 faktor berupa variasi penambahan air dan *superplasticizer*, dengan 2 level berupa penambahan air sebesar 15 ml dan 25 ml dan *superplasticizer* 1 ml dan 2 ml dengan respon berupa kemampuan bentuk. Hasil penelitian ketika dilakukan penambahan air sebesar 15 ml dan *superplasticizer* 1 ml dan 2 ml secara visual dapat membentuk 4 *layers* tetapi terdapat perbedaan pada penggunaan *superplasticizer* 1 ml, dapat membentuk tetapi masih terlihat tidak kontinu dan hasil penelitian ketika dilakukan penambahan air sebesar 25 ml dan *superplasticizer* 1 ml dan 2 ml tidak dapat membentuk *second layers* disebabkan material memiliki viskositas yang rendah yang mengakibatkan tidak membentuk *second layers*. *Run time* 1 dan 2 mampu membentuk *second layer* tetapi *run time* 1 adanya ketidak-kontinuan material sedangkan *run time* 3 dan 4 tidak mampu membentuk *second layer*. Material *reusable concrete* dapat digunakan untuk 3D *Printing* konstruksi dan dapat dilakukan optimasi parameter serta pengujian dengan kombinasi material yang telah dilakukan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas teknik, Universitas Gadjah Mada. Terimakasih kepada Laboratorium Desain Produk dan Bioceramics Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

6. Daftar Pustaka

- [1] BNPB 2020 *Badan nasional penanggulangan bencana: dara tahunan bencana alam di indonesia tahun 2001-2020*, <http://bnpb.cloud/dibi/tabel1a>
- [2] Zhao X, Wang Q, and Liu Y 2013 A review on the properties of bricks prepared with recycled waste materials - Postearthquake waste consideration *Advanced Materials Research* 661 108-11
- [3] Wibowo A P 2015 Aplikasi material bekas pakai pada rekonstruksi rumah tinggal pasca bencana alam gempa bumi 9(*KoNTekS* 9) 7-8

- [4] Sagala S, Situngkir F and Wimbarda R 2019 Interaksi Aktor dalam Rekonstruksi Rumah Pascabencana Gempa Bumi 29(2) 217-226
- [5] Ophiyandri T 2015 Community-based post-disaster housing reconstruction: examples from indonesia' *Post-Disaster Reconstruction of the Built Environment: Rebuilding for Resilience* ch.6 91–116
- [6] Hager I, Golonka A, and Putanowicz R 2016 3D Printing of buildings and building components as the future of sustainable construction *Procedia Engineering* 151 292-99
- [7] Tontowi A E 2016 *Desain Produk Inovatif dan Inkubasi Bisnis Kompetitif* Gadjah Mada University Press Yogyakarta
- [8] Tay Y W D, Panda B, Paul S C, Mohamed N A N, Tan M J and Leong K F 2017 3D printing trends in building and construction industry: a review *Virtual and Physical Prototyping* 12(3) 261–76
- [9] Valente M, Sibai A and Sambucci M 2019 Extrusion-based additive manufacturing of concrete products: revolutionizing and remodeling the construction industry *Journal of Composites Science*, 3(3) 88
- [10] Montgomery DC 2001 *Introduction To Statistical Quality Control* 6th Wiley Missouri
- [11] Le T T, Austin S A, Lim S, Buswell R A, Gibb A G F and Thorpe T 2012 Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 45(8) 1221-32
- [12] Malaeb Z, Hachem H, Tourbah A, Maalour T, Zarwi N E and Hamzah F 2015 3D concrete printing: machine and mix design *International Journal of Civil Engineering and Technology* 6 14–22.

