

Perancangan Struktur Mekanis 3D Concrete Printer 6x6x6 Meter

Edwin Anugrah Effendy^{1*}, Mochammad Sholeh¹, Amalina Shomami¹, dan
Djoko Nursanto²

¹Program Studi Teknik Mesin – EVE, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy,
Kampus UI, Depok, 16425

²EVE Workshhop, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Narogong Plant

Abstrak

Inovasi teknologi konstruksi sudah sampai dalam aplikasi penggunaan teknologi 3D Concrete Printer. Salah satu permasalahan dalam 3D Concrete Printer konstruksi adalah pemilihan dan keamanan struktur yang digunakan, hal ini mendorong penulis untuk merancang mesin 3D Concrete Printer yang fokus pada struktur mekanis. Tujuan dari penelitian ini adalah dapat memilih ukuran profil struktur yang tepat agar rancangan yang dibuat sudah teruji keamanannya. Perancangan struktur mekanis 3D Concrete Printer berhasil dilakukan dengan profil struktur yang dipilih pada sumbu X dan sumbu Z adalah IPE 140, sedangkan pada sumbu Y SHS 125x125x5. Defleksi yang terjadi pada struktur sumbu X adalah 4,0799 mm, struktur sumbu Y adalah 5,5361 mm, sedangkan gaya buckling yang dapat diterima struktur sumbu Z adalah 9269,8889 N.

Kata-kata kunci: 3D Concrete Printer, Keamanan, Struktur, Defleksi, Buckling

Abstract

Construction technology innovation has arrived in the application of 3D Concrete Printer technology. One of the problems in 3D Concrete Printer construction is the selection and safety of the structure used, this encourages the author to design a 3D Concrete Printer machine that focuses on mechanical structures. The purpose of this research is to be able to choose the right size of the structure profile so that the design made has been tested for safety. The design of the mechanical structure of the 3D Concrete Printer was successfully carried out with the selected structural profile on the X axis and Z axis is IPE 140, while on the Y axis SHS 125x125x5. The deflection that occurs in the X-axis structure is 4.0799 mm, the Y-axis structure is 5.5361 mm, while the acceptable buckling force for the Z-axis structure is 9269.8889 N.

Keywords: 3D Concrete Printer, Safety, Structure, Deflection, Buckling

* Corresponding author E-mail address: edwin.anugraheffendy.tm19@mhsw.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

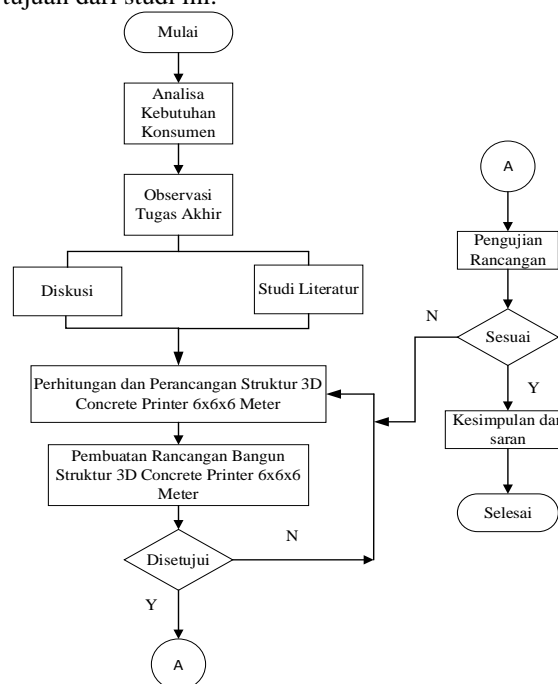
Direktorat Jenderal Perumahan menyatakan bahwa dalam kurun 2020-2024, ditargetkan pembangunan 51.340 unit rumah susun, 10.000 unit rumah khusus, 813.660 unit rumah swadaya, 262.345 unit PSU perumahan.[1] Hal tersebut menandakan bahwa dibutuhkan suatu teknologi yang dapat membangun rumah dengan waktu yang cepat secara efektif dan efisien. Teknologi 3D Printer merupakan teknologi yang dapat menunjang kebutuhan tersebut. Perkembangan 3D Printer dalam konstruksi sudah sampai dalam pembuatan prototype konstruksi bangunan dengan filamen yang digunakan yaitu mortar[2]. Desain 3D Concrete Printer sudah banyak memiliki model yang digunakan untuk mencetak suatu konstruksi bangunan seperti model gantry, robotic arm, dan model delta[4]. Pada struktur suatu konstruksi permesinan, banyak digunakan baja I beam karena bentuk baja tersebut mudah untuk dibongkar pasang dan memiliki banyak opsi untuk merangkul ke struktur lainnya[3].

Pada 24 Januari 2022, Perusahaan Start-up asal Yogyakarta, Autoconz, berhasil membangun rumah tipe 36. Rumah tipe 36 tersebut berhasil dibangun selama 3 bulan hingga layak huni.[5] Hal tersebut menjadikan konstruksi rumah pertama di Indonesia yang dibangun dengan menggunakan teknologi 3D Printing. Melihat perkembangan 3D Printing di Indonesia, PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk. melalui departemen Research and Development memutuskan untuk mengembangkan mesin 3D Printing untuk membangun suatu konstruksi rumah dengan skala mesin 6x6x6 meter. Untuk membangun suatu mesin dengan skala 6x6x6 meter, diperlukan konstruksi struktur mesin yang kokoh agar dapat menunjang proses pencetakan mesin 3D Concrete Printer.

Dalam studi ini, terdapat dua fokus bahasan yaitu struktur mekanis dan sistem kontrol dan elektrik. Pada studi ini, penulis fokus pada struktur mekanis 3D Concrete Printer dimana penulis akan menentukan profil struktur yang digunakan dan menganalisis keamanan yang terjadi pada struktur tiap sumbu.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 merupakan diagram alur, metode dalam melakukan penelitian secara sistematis dan ilmiah, hal tersebut demi mewujudkan tujuan dari studi ini.



Gambar 1 Diagram Alur Studi

Analisis Kebutuhan Konsumen

Pada metode ini dilakukan diskusi dengan *user*. Adapun *user* dalam penelitian ini yaitu Departemen *Research and Development*. Dari hasil diskusi, didapatkan kebutuhan *user* yaitu, menginginkan struktur yang

ringan, tahan terhadap korosi, tidak mudah panas, mudah untuk dilakukan perawatan, mudah untuk dibongkar pasang, dan murah.

Observasi

Setelah mengetahui kebutuhan konsumen, observasi dilakukan untuk mengetahui bentuk struktur mesin *3D Concrete Printer* 6x6x6 meter.

Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pencarian data-data serta referensi yang mendukung perancangan struktur mekanis *3D Concrete Printer* 6x6x6 meter dengan tujuan semua kebutuhan konsumen tercapai. Studi literatur dapat dicari dari jurnal maupun internet.

Diskusi

Pada tahap ini, dilakukan diskusi dengan dosen pembimbing, pembimbing lapangan, serta karyawan *Research and Development*. Diskusi dilakukan untuk menyelaraskan tujuan dari tugas akhir sehingga dapat tercapai tujuan tersebut.

Perancangan

Pada tahap ini, dilakukan perancangan untuk memenuhi tujuan tugas akhir serta memenuhi kebutuhan konsumen, tahap perancangan yang dilalui sebagai berikut:

1. Menentukan konsep desain

Desain struktur *3D Concrete Printer* dibuat dengan menggunakan software solidworks. Desain yang dibuat mengacu pada kebutuhan konsumen. Setelah desain dibuat, dilakukan survey kepada 8 responden di EVE Workshop dan 2 responden di Research Center melalui google form, dengan skala penilaian dari 1 sampai 5. Setelah didapatkan jawaban dari responden, diolah dengan persamaan 1.

$$\% \text{ Hasil} = \frac{\text{Nilai jawaban responden}}{5} \times \% \text{ bobot} \dots \dots \dots (1)$$

2. Menentukan material

Material ditentukan dengan mempertimbangkan:

- Persyaratan material
- Material yang memenuhi persyaratan
- Material yang tersedia di pasaran
- Kemudahan dalam permesinan material
- Harga

Setelah melewati tahap pertimbangan penentuan material, dipilih dua material sebagai bahan perbandingan yaitu, *steel* (S235) dan aluminium (6063-T6).

3. Menentukan struktur sumbu X

Untuk menentukan struktur sumbu X ada beberapa parameter yang ditentukan:

- Beban ekstruder beserta transmisi yang direncanakan (m) = 100 kg
- Panjang struktur yang direncanakan (L) = 6000 mm
- *Bending stress limit* (σ_b) = 290 N/mm²
- *Factor Of Safety* (v) = 8
- Ukuran cable carrier = 114

Dari parameter untuk menentukan struktur sumbu X, akan dihitung momen tahanan *bending* sebagai acuan pemilihan ukuran profil, ukuran profil yang dipilih harus sama atau lebih besar dari momen tahanan *bending* yang didapatkan dari perhitungan. Profil yang digunakan pada struktur sumbu X adalah I-beam. Perhitungan dilakukan dengan persamaan 2.

$$W = \frac{Mb}{\sigma_b} \times v \dots \dots \dots (2)[6]$$

4. Menentukan struktur sumbu Y

Untuk menentukan struktur sumbu Y ada beberapa parameter yang ditentukan:

- Beban extruder beserta struktur sumbu X (m) = 138,7 kg
- Panjang struktur yang direncanakan (L) = 6000 mm
- *Bending stress limit* (σ_b) = 290 N/mm²
- *Factor Of Safety* (v) = 8

Dari parameter untuk menentukan struktur sumbu Y, akan dihitung momen tahanan *bending* sebagai acuan pemilihan ukuran profil, ukuran profil yang dipilih harus sama atau lebih besar dari momen tahanan *bending* yang didapatkan dari perhitungan. Profil yang digunakan pada struktur sumbu Y adalah *Square Hollow Section* (SHS). Perhitungan dilakukan dengan persamaan 2.

5. Menentukan struktur sumbu Z

Untuk menentukan struktur sumbu Z ada beberapa parameter yang ditentukan:

- Beban extruder beserta struktur sumbu X dan Y (m) = 174,25 kg
- Panjang struktur yang direncanakan (L) = 6000 mm
- *Free buckling length* (L_{bu}) = $2 \times L$ = 12000 mm
- *Factor Of Safety* (v) = 8
- Modulus elastisitas = 200000 N/mm²

Dari parameter untuk menentukan ukuran profil struktur sumbu Z, akan dihitung momen inersia dari persamaan 3. Ukuran profil yang dipilih harus sama atau lebih besar dari momen inersia yang didapatkan dari perhitungan. Profil yang digunakan pada struktur sumbu Z adalah I-beam

$$F_{bu,allow} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_{bu}^2 \times v} \dots \dots \dots (3)[6]$$

Uji Coba dan Pengamatan

Pada tahap ini, dilakukan uji coba terhadap rancangan yang telah dihitung. Uji coba pada struktur sumbu X dan Y dilakukan dengan menghitung defleksi yang terjadi pada struktur seperti pada persamaan 4.

$$f = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I} \dots \dots \dots (4)[6]$$

Defleksi yang terjadi pada struktur sumbu X dan Y harus lebih kecil dari defleksi yang diizinkan. Defleksi yang diizinkan dihitung dengan persamaan 5. Jika nilai defleksi yang terjadi lebih kecil dari defleksi yang diizinkan, maka struktur dinyatakan aman.

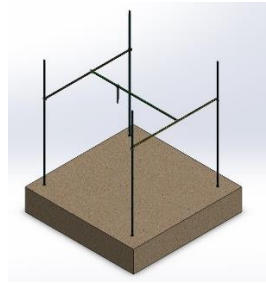
$$allowable\ deflection\ (f') = \frac{L}{360} \dots \dots \dots (5)[7]$$

Uji coba pada struktur sumbu Z dilakukan dengan menghitung gaya *buckling* pada profil struktur sumbu Z yang telah dipilih, jika nilai gaya *buckling* pada struktur sumbu Z lebih besar dari gaya *buckling* yang terjadi pada sumbu Z, maka dinyatakan aman. Nilai gaya *buckling* dapat dihitung dengan persamaan 3.

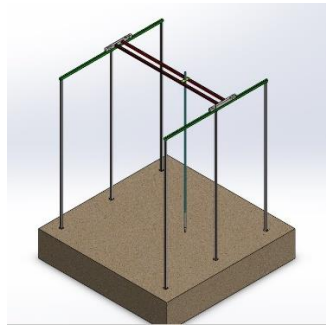
3. PEMBAHASAN DAN HASIL

Analisis Pemilihan Konsep Desain

Konsep desain pertama 3DCP dirancang dengan extruder *fixed* pada struktur sehingga struktur yang akan bergerak seperti pada gambar 2, sedangkan pada konsep desain kedua 3DCP seperti pada gambar 3, dirancang dengan extruder bergerak sedangkan struktur *fixed*. Kedua desain yang digunakan menggunakan konsep *gantry* karena bekerja dalam tiga dimensi sesuai dengan sistem koordinat sumbu X, Y dan Z[4].



Gambar 2 Konsep Desain 1



Gambar 3 Konsep Desain 2

Analisis pemilihan desain dipaparkan pada tabel 1.

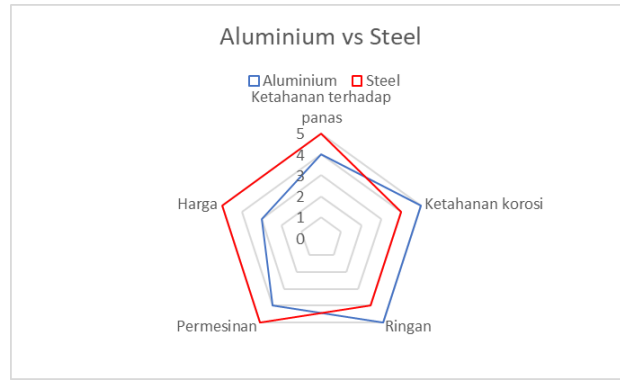
Tabel 1 Perbandingan Desain 3DCP

Kriteria	Bobot	Desain 1	Desain 2
Harga	10%	8%	5%
Kemudahan instalasi	30%	26%	19%
Maintenance	30%	24%	16%
Kemudahan dalam pembuatan	30%	22%	22%
Jumlah	100%	81%	63%

Dari tabel 1, dipilih konsep desain 1 karena memiliki persentase yang lebih besar, yaitu 81%, dibanding dengan konsep desain dua yang memiliki persentase 63%.

Analisis Penentuan Material

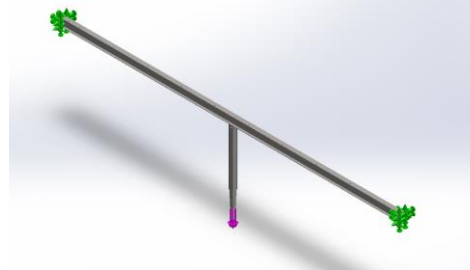
Penentuan material dilakukan sebagai landasan dalam pemilihan struktur. Pilihan material yang akan digunakan yaitu *steel* (S235) dan Aluminium (6063-T6). Dari kedua pilihan material tersebut, dilakukan perbandingan pada Gambar 4. Dari Gambar 4, didapat area material *steel* lebih besar, sehingga dipilih material *steel* dibanding aluminium.



Gambar 4 Diagram Perbandingan Aluminium Dengan Steel

Penentuan struktur sumbu X

Gambar 5 mengilustrasikan struktur sumbu X dan pembebanan yang terjadi.



Gambar 5 Struktur Sumbu X

Didapatkan nilai momen tahanan *bending* struktur sumbu X sebesar 40,5931 cm³. Dari nilai momen tahanan *bending* pada struktur sumbu X, akan dipilih profil struktur I-beam berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2 Tabel I-Beam[6]

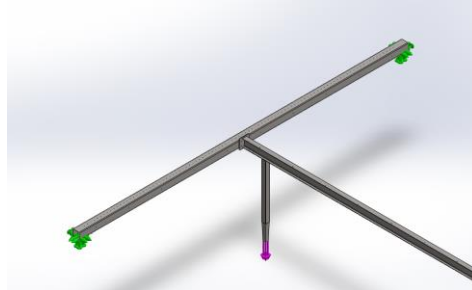
Medium width I-beams (IPE), hot-rolled (selection)											cf. DIN 1025-5 (1994-03)			
Designation	Dimensions in mm						S cm ²	m' kg/m	For the bending axis				Tracing dimension accord. to DIN 997	
	h	b	s	t	r	I _x cm ⁴			W _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	w ₁ mm	d ₁ mm	
100	100	55	4.1	5.7	7	10.3	8.1	171	34.2	15.9	5.8	30	8.4	
120	120	64	4.4	6.3	7	13.2	10.4	318	53.0	27.7	8.7	36	8.4	
140	140	73	4.7	6.9	7	16.4	12.9	541	77.3	44.9	12.3	40	11	
160	160	82	5.0	7.4	9	20.1	15.8	869	109	68.3	16.7	44	13	
180	180	91	5.3	8.0	9	23.9	18.8	1320	146	101	22.2	50	13	
200	200	100	5.6	8.5	12	28.5	22.4	1940	194	142	28.5	56	13	
240	240	120	6.2	9.8	15	39.1	30.7	3890	324	284	47.3	68	17	
270	270	135	6.6	10.2	15	45.9	36.1	5790	429	420	62.2	72	21	
300	300	150	7.1	10.7	15	53.8	42.2	8360	557	604	80.5	80	23	
360	360	170	8.0	12.7	18	72.7	57.1	16270	904	1040	123	90	25	
400	400	180	8.6	13.5	21	84.5	66.3	23130	1160	1320	146	96	28	
500	500	200	10.2	16.0	21	116	90.7	48200	1930	2140	214	110	28	
600	600	220	12.0	19.0	24	156	122	92080	3070	3390	308	120	28	

⇒ I-profile DIN 1025 – S235JR – IPE 300: Medium width I-beams with parallel flange surfaces, h = 300 mm, from S235JR

Menurut Tabel 2, dipilih profil struktur IPE 140 yang memiliki nilai momen tahanan *bending* $77,3 \text{ cm}^3$ yang mana lebih besar dibanding momen tahanan *bending* pada struktur sumbu X.

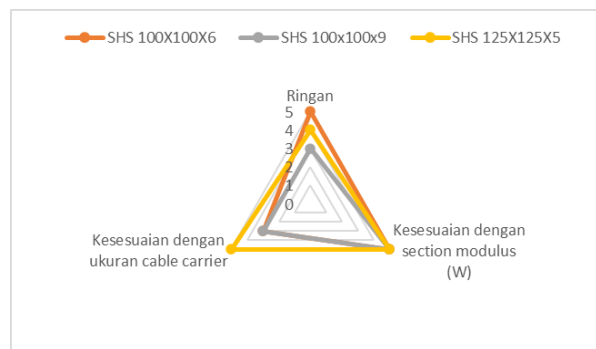
Penentuan struktur sumbu Y

Gambar 6 mengilustrasikan struktur sumbu Y dan pembebanan yang terjadi.



Gambar 6 Struktur Sumbu Y

Didapatkan nilai momen tahanan *bending* struktur sumbu Y sebesar $56,3026 \text{ cm}^3$. Dari nilai momen tahanan *bending* pada struktur sumbu Y, akan dipilih profil struktur berdasarkan Gambar 7.

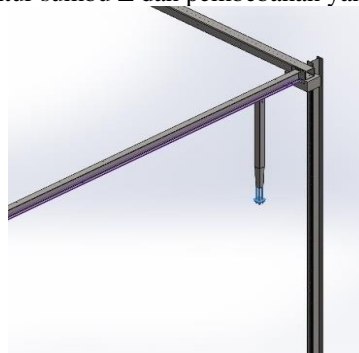


Gambar 7 Diagram Perbandingan Profil Struktur Sumbu Y

Menurut Gambar 7, dipilih SHS 125x125x5 karena memiliki area yang paling luas dibanding SHS 100x100x6 dan SHS 100x100x9.

Penentuan struktur sumbu Z

Gambar 8 mengilustrasikan struktur sumbu Z dan pembebanan yang terjadi.



Gambar 8 Struktur Sumbu Z

Didapatkan nilai momen inersia struktur sumbu Z sebesar $99,7619 \text{ cm}^4$. Dari nilai momen inersia pada struktur sumbu Z, akan dipilih profil struktur berdasarkan Tabel 2. Menurut Tabel 2, dipilih profil struktur IPE

140 yang memiliki nilai momen inersia 541 cm^4 yang mana lebih besar dibanding momen inersia pada struktur sumbu Z.

Pengujian Pada Struktur Sumbu X

Pada struktur sumbu X, profil yang digunakan adalah IPE 140, maka akan dilakukan pengujian defleksi terhadap struktur sumbu X. Didapatkan nilai defleksi yang terjadi pada struktur sumbu X adalah 4,0799 mm, sedangkan defleksi yang diizinkan adalah 16,6667 mm. Karena nilai defleksi yang terjadi lebih kecil dibanding nilai defleksi yang diizinkan, maka struktur sumbu X dinyatakan aman.

Pengujian Pada Struktur Sumbu Y

Pada struktur sumbu Y, profil yang digunakan adalah SHS 125x125x5, maka akan dilakukan pengujian defleksi terhadap struktur sumbu Y. Didapatkan nilai defleksi yang terjadi pada struktur sumbu Y adalah 5,5361 mm, sedangkan defleksi yang diizinkan adalah 16,6667 mm. Karena nilai defleksi yang terjadi lebih kecil dibanding nilai defleksi yang diizinkan, maka struktur sumbu Y dinyatakan aman.

Pengujian Pada Struktur Sumbu Z

Pada struktur sumbu Z, profil yang digunakan adalah IPE 140, maka akan dilakukan pengujian gaya *buckling* pada struktur sumbu Z terhadap gaya *buckling* yang terjadi. Didapatkan nilai gaya *buckling* pada struktur sumbu Z adalah 9269,8889 N, sedangkan nilai gaya *buckling* yang terjadi adalah 1709,4 N. Karena nilai gaya *buckling* struktur sumbu Z lebih besar dibanding nilai gaya *buckling* yang terjadi, maka struktur sumbu Z dinyatakan aman.

KESIMPULAN

Profil struktur yang digunakan pada sumbu X dan sumbu Z adalah IPE 140 sedangkan pada sumbu Y adalah SHS 125x125x5. Struktur yang digunakan pada 3DCP 6x6x6 meter aman, karena nilai defleksi pada struktur sumbu X dan Y lebih kecil dibanding nilai defleksi izin serta nilai gaya buckling pada struktur sumbu Z lebih besar dibanding gaya buckling yang bekerja.

REFERENSI

- [1] Kompas.com, "Teknologi 3D Printing Resmi Digunakan Pemerintah Bangun Rumah Khusus," Jan. 22, 2022.
- [2] M. T. Adam, "RANCANG BANGUN SISTEM MEKANIK 3D PRINTER MORTAR 1X1X1M," Politeknik Negeri Jakarta, Narogong, 2020.
- [3] I. Rahardi, "PENGARUH PENGGUNAAN STRUKTUR BAJA PADA BANGUNAN 2 TINGKAT SEBAGAI BANGUNAN YANG HEMAT BIAYA STUDI," vol. 9, 2020.
- [4] I. Taufik, "Model - Model 3D printer," 2018. <https://3dprinting.ft.ugm.ac.id/2018/10/09/model-model-3d-printer/> (accessed Aug. 22, 2022).
- [5] Z. Wuragil, "Startup Yogya Gunakan 3D Printing Bangun Rumah di Lereng Merapi," Jan. 31, 2022.
- [6] U. Fischer *et al.*, *Mechanical and Metal Trades Handbook*, 2nd ed. Leinfelden-Echterdingen: Europa-Lehrmittel, 2010.
- [7] M. E. Haque, "DEFLECTION."