

Pembuatan Pilar *Support* Mesin 3D *Concrete Printing* menggunakan Konstruksi *Cremona* dengan Material Besi Profil Siku

Rani Nopriyanti¹, Mohamad Fauzi², Heri Setiawan³, Anhar Kurniaji⁴
^{1,2,3} Dosen Teknik Manufaktur Polman Bandung
⁴ Mahasiswa Teknik Manufaktur Polman Bandung

Email: rani@me.polman-bandung.ac.id

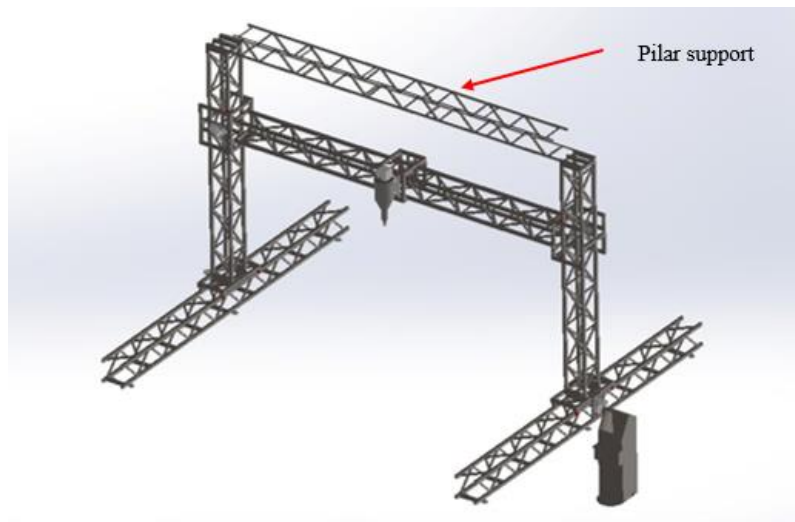
Informasi Artikel:	ABSTRAK
<i>Received:</i> 29 Februari 2024	Mesin 3D <i>concrete printing</i> memiliki beberapa bagian, diantaranya adalah bagian pilar. Pilar terbagi menjadi pilar utama dan pilar <i>support</i> . Pilar utama terbagi menjadi tiga bagian yaitu pilar sumbu X, pilar sumbu Y, dan pilar sumbu Z. Penelitian ini berfokus kepada proses fabrikasi pilar <i>support</i> dan estimasi estimasi biaya - waktu untuk mesin 3D <i>concrete printing</i> dengan dimensi 7020 x 400 x 354 mm. Pilar <i>support</i> terbuat dari besi profil siku dengan dimensi 30 x 30 x 3 mm, dan berfungsi untuk menopang pilar sumbu Z dan menjaga kesejajarannya. Berdasarkan dokumen <i>operation plan</i> yang telah dibuat dan perhitungan biaya-waktu menunjukkan bahwa proses fabrikasi dapat diselesaikan dalam 7,16 jam dengan biaya Rp. 1.588.140,-. Hasil penelitian ini memberikan Gambaran detail mengenai proses pembuatan pilar <i>support</i> yang dapat diaplikasikan pada proyek serupa.
<i>Accepted:</i> 01 Oktober 2024	
<i>Available:</i> 15 November 2024	
Kata Kunci:	ABSTRACT
3DCP machine, support pillar, Cremona construction, equal angle bar.	<i>A 3D concrete printing machine consists of several parts, including the pillar. The pillar is divided into the main pillar and the support pillar. The main pillar is further divided into three parts: the X-axis pillar, the Y-axis pillar, and the Z-axis pillar. This research focuses on the fabrication process and cost-time calculation of a support pillar for a 3D concrete printing machine with dimensions of 7020 x 400 x 354 mm. The support pillar is made of angle iron with dimensions of 30 x 30 x 3 mm and serves to support the Z-axis pillar and maintain its alignment. Based on the operation plan that was made and cost-time calculations, the fabrication process can be completed in 7.16 hours with the cost Rp. 1.588.140,-. This research provides a detailed overview of the support pillar fabrication process that can be applied to similar projects.</i>

jtrm.polman-bandung.ac.id

1. Pendahuluan

Teknologi 3D *Concrete Printing* (3DCP) telah menjadi salah satu inovasi penting yang mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pembangunan struktur sipil. Teknologi ini memungkinkan proses pencetakan beton secara otomatis dan presisi tinggi, yang berdampak pada pengurangan waktu pengerjaan dan material limbah. [1] Menurut Lim *et al.* pada tahun 2012 menemukan bahwa teknologi ini tidak hanya mampu mengurangi waktu fabrikasi namun juga mampu mengurangi biaya konstruksi secara signifikan. [2]

Mesin 3D concrete printing terdiri dari beberapa bagian, diantaranya adalah pilar utama dan pilar *support*. Gambar 1 menunjukkan rangka 3D *Concrete Printing* (3DCP) secara keseluruhan. Pilar *support* merupakan salah satu komponen yang dirancang untuk menopang beban mesin selama proses pencetakan berlangsung. Material yang digunakan menjadi salah satu aspek penting dalam merancang pilar *support*. Besi profil siku adalah salah satu material yang banyak digunakan dalam struktur rangka karena sifat mekaniknya yang unggul, termasuk daya tahan terhadap beban tekan dan geser. Besi profil siku sangat mudah untuk dirakit sehingga material ini sangat ideal untuk mendukung kebutuhan mesin 3DCP dalam proyek konstruksi sipil.



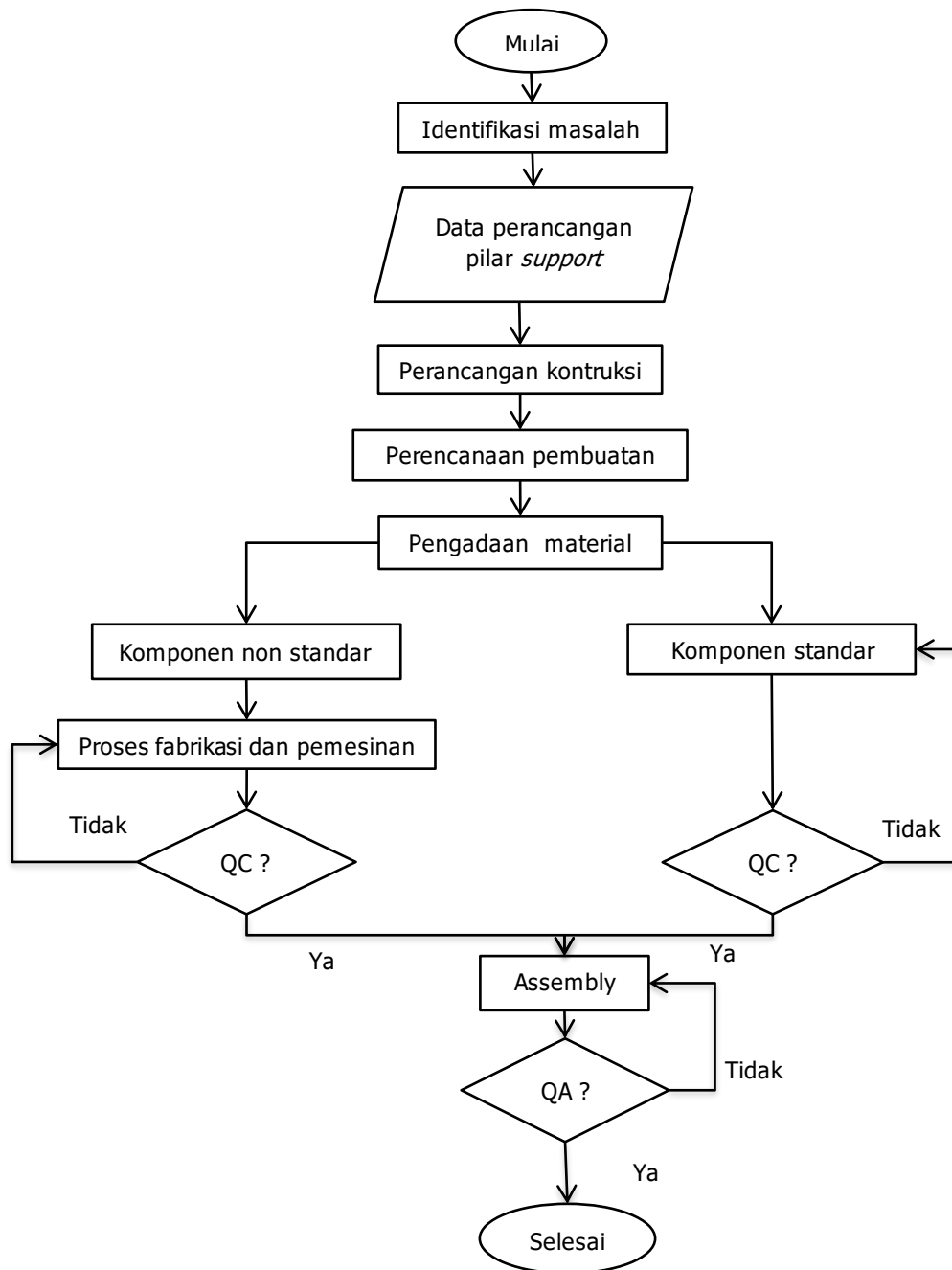
Gambar 1. Rangka Mesin 3D *concrete printing*

Beberapa penelitian terbaru telah membahas manfaat fabrikasi berbasis teknologi digital, seperti 3DCP, dalam mempercepat proyek konstruksi. Salah satunya adalah penelitian oleh Hong *et al.* pada tahun 2022, yang menemukan bahwa adopsi teknologi 3D dalam konstruksi dapat mengurangi waktu pengerjaan hingga 40%. [3] Selain itu, Kim *et al.* pada tahun 2021 menyebutkan bahwa fabrikasi menggunakan material logam seperti besi profil memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan material lainnya tanpa mengurangi kualitas struktur. [4]

Penelitian ini berfokus pada pengembangan proses fabrikasi yang efisien dari segi waktu dan biaya, sehingga dapat mendukung pengadopsian teknologi 3DCP yang lebih luas di proyek konstruksi sipil.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis proses fabrikasi dan estimasi waktu serta biaya pembuatan pilar support mesin 3D *Concrete Printing* (3DCP) dengan menggunakan konstruksi *Cremona* dan material besi profil siku. Metodologi penelitian ini dibagi ke dalam beberapa tahap dan telah disusun dalam bentuk *flowchart* seperti tercantum pada Gambar 2.

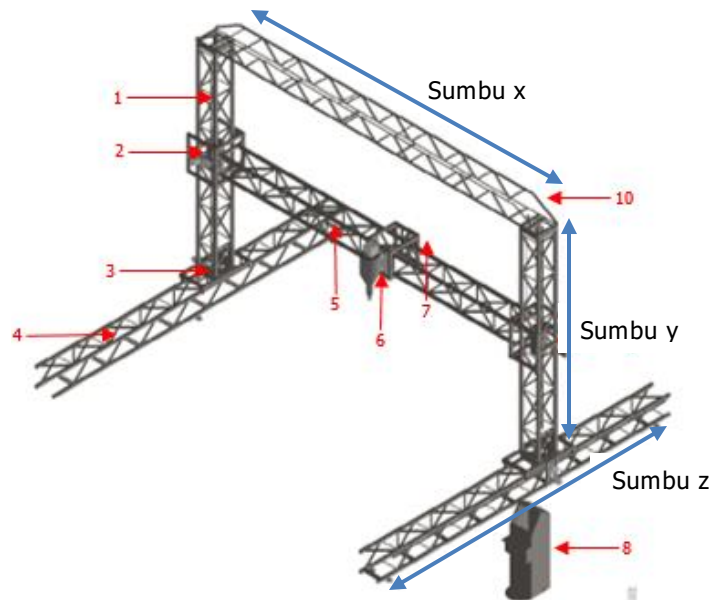


Gambar 2. Diagram Alir Proses Pembuatan Pilar *Support*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Rancangan Konstruksi Mesin 3D Concrete Printing

Konstruksi mesin *3D Concrete Printing* terdiri dari beberapa sub assy konstruksi yang dapat dilihat pada Gambar di bawah ini. Bagian utama konstruksi merupakan pilar yang terdiri dari 3 sumbu yaitu pilar sumbu horizontal (sumbu x dan y) dan pilar sumbu vertikal (sumbu z).



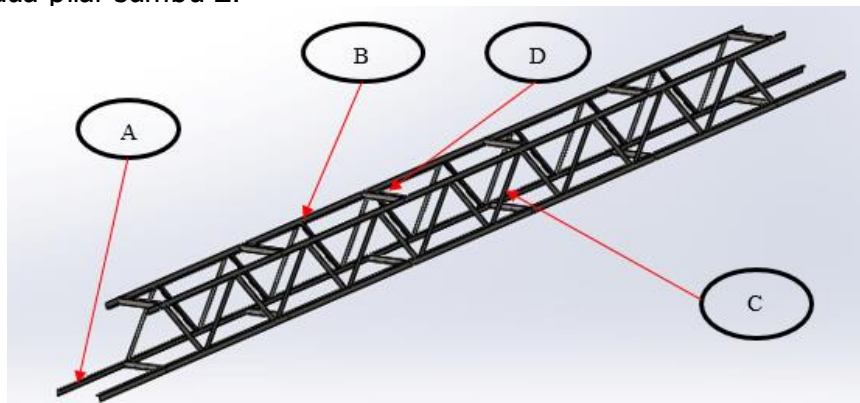
Gambar 3. Konstruksi Mesin 3DCP

Keterangan Gambar 3.,

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. Pilar sumbu Z | 6. <i>Nozzle</i> |
| 2. <i>Slider</i> sumbu Z | 7. <i>Slider</i> sumbu X |
| 3. <i>Slider</i> sumbu Y | 8. <i>Panel box</i> |
| 4. Pilar sumbu Y | 9. <i>Counterweight</i> |
| 5. Pilar sumbu X | 10. <i>Pilar support</i> |

3.1.1 Bentuk konstruksi pilar *support*

Pilar *support* berfungsi untuk membantu pilar sumbu Z dalam bekerja serta mempertahankan kesejajaran kedua pilar sumbu Z.

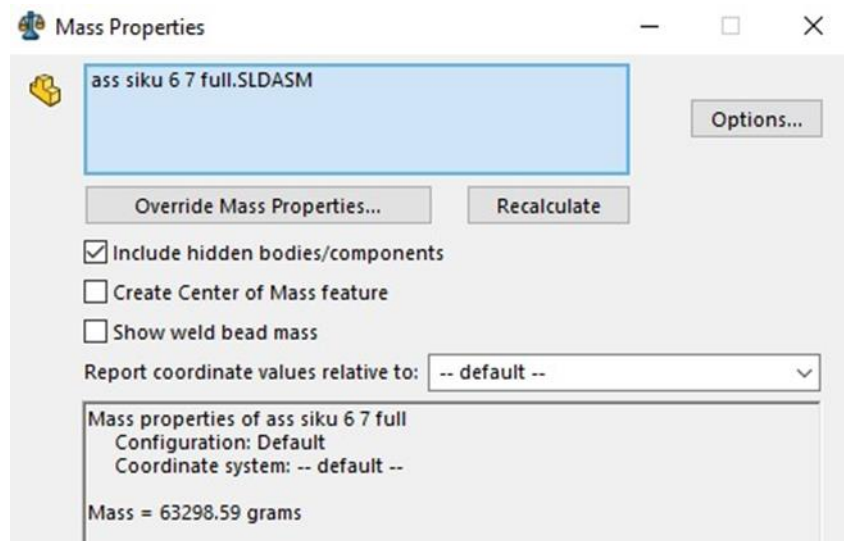


Gambar 4. Konstruksi Pilar *Support*

Pembuatan Pilar *Support* Mesin 3D *Concrete Printing* menggunakan Konstruksi *Cremona* dengan Material Besi Profil Siku

Tabel 1. Komponen Penyusun Pilar *Support*

Simbol	Nama Komponen	Jumlah
A	Besi siku 7 meter	2
B	Besi siku 6 meter	2
C	Besi siku cremona	34
D	Support lurus	12



Gambar 5. Massa Pilar *Support*

Berdasarkan data mass properties pada *software solidworks* pilar support yang terbuat dari besi siku ukuran 30 x 30 mm dengan tebal 3 mm memiliki berta 63,3 Kg.

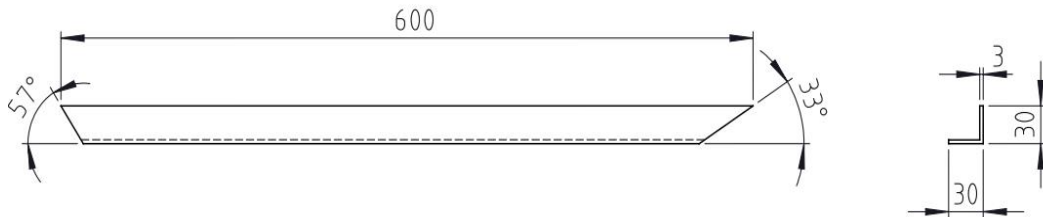
3.2 Perencanaan Pembuatan

Perencanaan pembuatan atau biasa disebut dengan *operation plan* merupakan susunan tahapan proses pembuatan suatu benda kerja yang berguna untuk melancarkan proses pembuatan supaya pembuatan dapat berjalan lancar, teratur, dan sesuai dengan rencana. Tahapan proses pada pembuatan pilar *support* ini dilakukan dengan beberapa proses dimulai dari proses pemotongan, proses pengeboran, dan proses pengelasan [2]. Berikut adalah *operation plan* pembuatan salah satu komponen dari pilar *support* tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. *Operation Plan* Pembuatan Komponen

OPERATION PLAN		
	Nama Part	PENGHUBUNG RANGKA 1 & 2
	No. Gambar	GB.03/PILARSUPPORT
	No. ID	PA 304-03
	Jumlah	4
	Material	SS 400
Gambar Part		

TOL. SEDANG



		(menit)	(menit)
1.01	Periksa benda kerja dan pelajari Gambar kerja.	1'	
1.02	Setting mesin gerinda <i>cutting wheel</i> .	1'	
1.03	<i>Marking</i> besi siku sepanjang 600mm.	0.5'	
1.04	Cekam besi siku pada pencekam mesin gerinda potong.	1'	
1.05	Potong besi siku dengan panjang 600 mm.		0.23'
2.01	Periksa dan ukur hasil pemotongan.	1'	
Waktu Proses Pengerjaan ('/menit) / 1 pcs		4.5'	0.25' ^
Total Waktu Proses Pengerjaan ('/menit) / 1 pcs		9.5'	
Total Waktu Proses Pengerjaan ('/menit) / 2 pcs		19'	
Pada saat proses pemotongan, perhatikan aspek K3 dengan cara menggunakan peralatan pelindung seperti kacamata, sepatu safety dan baju kerja. Perhatikan juga kondisi mesin yang digunakan.			

3.3 Pengadaan Material

Pengadaan material dilakukan melalui koordinasi dengan bagian UPT Logistik POLMAN Bandung. Proses pengadaan ini memerlukan perencanaan yang terstruktur, mengingat durasi pengadaan material dan komponen yang dapat memakan waktu cukup lama. Oleh karena itu, persiapan yang menyeluruh sangat penting untuk menghindari keterlambatan dalam pelaksanaan proyek. Pada pembuatan pilar support, terdapat sejumlah material dan komponen yang harus dipesan terlebih dahulu untuk memastikan kelancaran proses fabrikasi. Material yang dipesan dalam hal ini yaitu besi siku dengan spesifikasi 30x30x3 sejumlah 9 batang.

Setelah material tersedia, maka diperlukan pengecekan atau inspeksi. Inspeksi material memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan keberhasilan proyek, terutama dalam industri manufaktur dan konstruksi. Melalui inspeksi, kualitas dan kesesuaian material dengan spesifikasi teknis dapat diverifikasi, sehingga mencegah masalah seperti ketidaksesuaian dimensi, kegagalan struktural, atau cacat selama proses fabrikasi. Dengan demikian, inspeksi membantu menghindari penundaan serta kerugian waktu dan biaya yang disebabkan oleh penggunaan material yang tidak memenuhi standar. Selain itu, inspeksi juga memastikan bahwa material mematuhi standar industri dan regulasi yang berlaku, yang penting untuk menjamin keamanan dan kepatuhan hukum. Proses ini esensial dalam memastikan efisiensi, kualitas, dan keberlanjutan proyek secara keseluruhan. Inspeksi yang perlu dilakukan dalam

proses fabrikasi kali ini yaitu diantaranya pengecekan dimensi dari material atau komponen, pengecekan visual dari material atau komponen, pengecekan jumlah dari material atau komponen.

3.4 Proses Pembuatan

Setelah poroses pengadaan material dan inspeksi maka langkah selanjutnya yaitu proses pembuatan atau fabrikasi. Setiap komponen yang ada pada pilar memiliki beberapa tahapan proses pengerjaan atau pembuatan seperti tercantum pada Tabel 3. Jumlah komponen ditentukan berdasarkan hasil pengecekan visual pada desain Gambar yang telah dibuat.

Tabel 2. Tahapan Proses Pengerjaan

No	Nama Komponen	Jumlah	Tahapan Proses Pengerjaan
1	Cremona	34	GP → QC
2	Support lurus	12	GP → GT → QC
3	Penghubung rangka 1 & rangka 2	4	GP → QC
4	<i>Assembly</i> pilar	1	W → QA

Keterangan:

GP : Gerinda potong

GT : Gerinda tangan

QA : *Quality assembly*

QC : *Quality control*

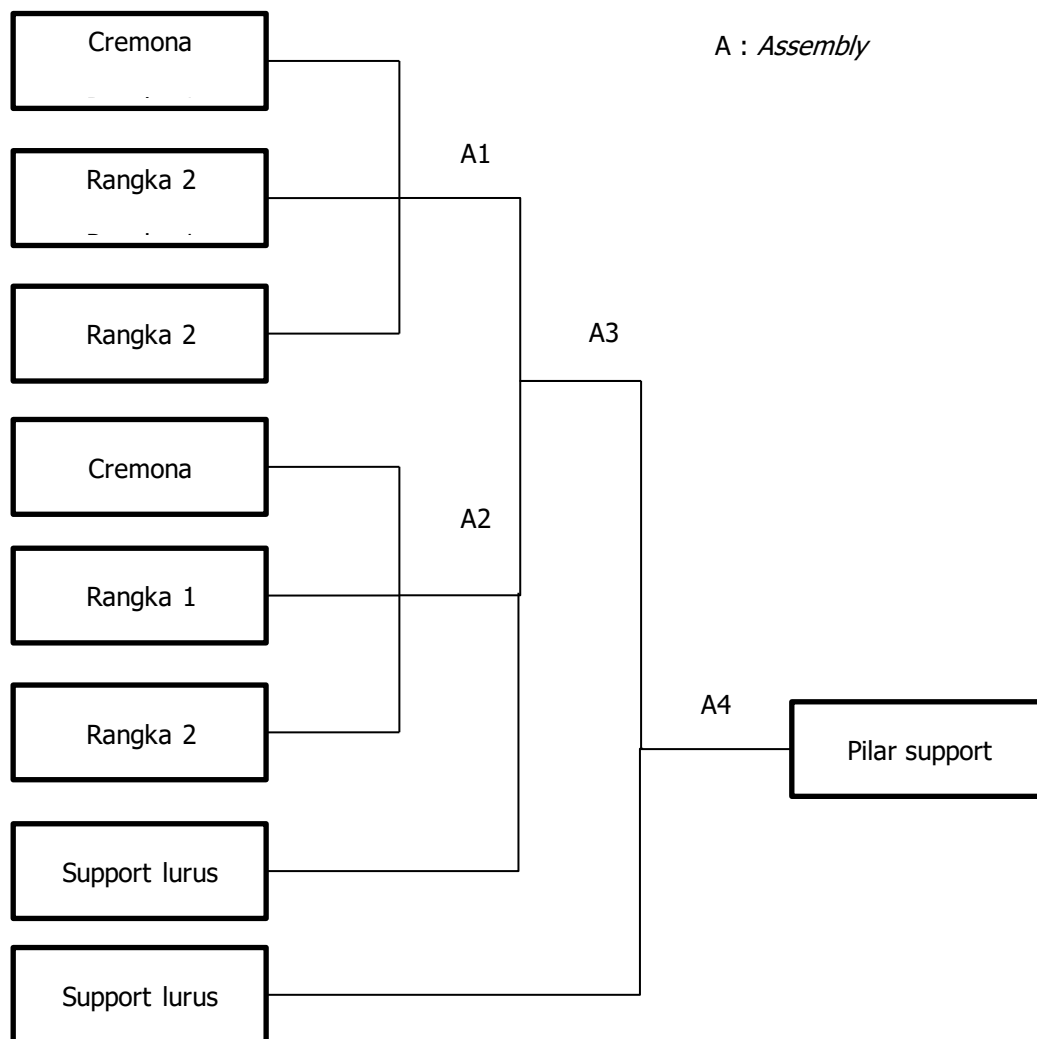
W : *Welding* (las)

3.5 Quality Control

Setelah melakukan proses pembuatan pilar *support*, maka langkah selanjutnya yaitu tahapan *quality control*. Tahap ini bertujuan untuk mengukur dan memeriksa hasil pembuatan pilar *support* apakah sesuai dengan rancangan pembuatan atau desain Gambar kerja yang sudah direncanakan sebelumnya. Parameter untuk melakukan inspeksi atau *quality control* yaitu dimensi atau ukuran, tampak visual, serta fungsi dari bagian tersebut berfungsi dengan baik atau tidak. Apabila telah lolos inspeksi, maka langkah selanjutnya adalah proses perakitan. Namun jika tidak lolos inspeksi maka benda akan dilakukan proses perbaikan ataupun pembuatan kembali [5].

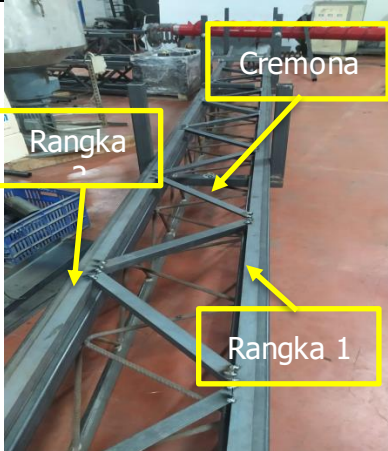
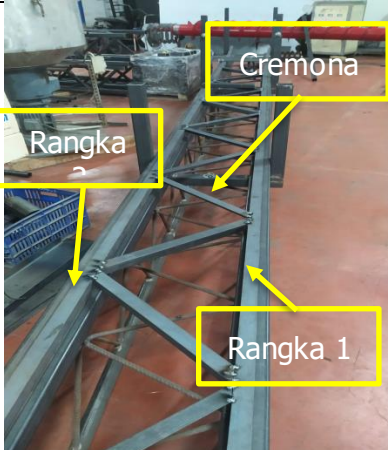
3.6 Proses Perakitan

Perakitan (*assembly*) merupakan suatu proses penyusunan dan penyatuan beberapa bagian komponen menjadi suatu alat atau mesin yang mempunyai fungsi tertentu. Kegiatan perakitan ini meliputi penyusunan, penempatan, pengikatan, dan pengukuran. Berikut tahapan perakitan pilar *support*:



Gambar 6. Alur Proses Perakitan (*Assembly*)

Tabel 3. Penjelasan Proses Perakitan (*Assembly*)

Kode <i>Assembly</i>	Metode Penyambungan	Target <i>Assembly</i>	Gambar
A1	Pengelasan	Komponen <i>cremona</i> disambungkan ke rangka 1 dan rangka 2 pilar <i>support</i> . Jarak dan kesejajaran <i>cremona</i> terhadap besi siku 6 dan 7 meter terpenuhi.	 The image shows a close-up of the assembly process for A1. It features a steel frame with two main horizontal beams labeled 'Rangka 1' and 'Rangka 2'. A diagonal cross-brace labeled 'Cremona' is being welded to these beams. Yellow arrows point from the text labels to the corresponding parts in the image.
A2	Pengelasan	Komponen <i>cremona</i> disambungkan ke rangka 1 dan rangka 2 pilar <i>support</i> . Jarak dan kesejajaran <i>cremona</i> terhadap besi siku 6 dan 7 meter terpenuhi.	 This image is identical to the one for A1, showing the welding of the 'Cremona' cross-brace to 'Rangka 1' and 'Rangka 2'.
A3	Pengelasan	Assembly A1 dan A2 dihubungkan dengan support lurus bagian bawah. Ketegaklurusan dan kesejajaran antar A1 dan A2 terpenuhi.	 The image shows the final assembly step A3. A vertical steel beam labeled 'Support lurus' is being welded to the bottom of the previously assembled frame. A yellow arrow points from the label to the support beam.

Kode <i>Assembly</i>	Metode Penyambungan	Target <i>Assembly</i>	Gambar
A4	Pengelasan	Assembly A1 dan A2 dihubungkan dengan support lurus bagian atas. Ketegaklurusan dan kesejajaran antar A1 dan A2 terpenuhi.	

3.7 Estimasi Waktu Proses Pembuatan

Estimasi waktu proses pembuatan adalah waktu perkiraan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pembuatan komponen non-standard dan proses assembly. Estimasi waktu proses pemessinan pada proyek ini terdiri dari *time cutting*, *time non-cutting*, *time welding*, dan *time non-welding*. Time cutting dan time welding didapat dari hasil perhitungan menggunakan rumus, sedangkan time non cutting dan time non welding merupakan perkiraan yang diambil dari pengalaman operator [3].

Berdasarkan hasil perhitungan waktu yang sudah di akumulasi maka waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan alat ini adalah 7,16 jam.

3.8 Estimasi Biaya Pembuatan

1. Estimasi biaya raw material

Estimasi biaya untuk raw material yang digunakan dalam pembuatan pilar support adalah Rp 1,080,000.00 seperti tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi Biaya *Raw Material*

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Qty	Harga Satuan	Harga Total
1	Besi siku	30x30x3 mm	9 batang	Rp 120.000,-	Rp 1.080.000,-
Total Estimasi Biaya Komponen atau Material					Rp 1,080,000,-

2. Estimasi biaya proses pembuatan

Estimasi biaya proses pembuatan dan operator adalah perkiraan biaya berdasarkan waktu penggunaan mesin pada pembuatan pembuatan pilar *support*. Perhitungan biaya ini bisa didapatkan dengan menghitung waktu proses pemessinan dengan *machine rate* atau tarif mesin. Perhitungan didasarkan pada biaya yang ada di Politkenik Manufaktur Bandung. Untuk biaya operator sudah termasuk dengan biaya sewa mesin per-jamnya sehingga pehitungan estimasi biaya proses pembuatan dan operator dapat dihitung pada Tabel di bawah ini.

Tabel 5. Estimasi Biaya Proses Pembuatan

No	Nama Proses	Waktu Proses		Harga Sewa Mesin		Biaya Pemesinan	
		(menit)	(jam)		(per jam)		
1	Gerinda <i>Cutting Wheel</i>	248.5	4.14	Rp	15,000.00	Rp	62,125.00
3	Pengelasan	181.325	3.02	Rp	60,000.00	Rp	181,325.00
Total Estimasi Biaya Proses Pembuatan						Rp	243,450.00

3. Estimasi biaya total

Perhitungan estimasi biaya total pembuatan pilar *support* mesin 3D *concrete printing* dapat dilihat pada deskripsi Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Biaya Proses Pembuatan

No.	Deskripsi	Harga
1.	Total biaya komponen atau material (A)	Rp. 1.080.000,00
2.	Total biaya proses pembuatan dan operator (B)	Rp. 243,450.00
3.	Total Biaya (C) = A+B	Rp. 1.323.450,00
4.	Biaya <i>Overhead</i> (D) = 20% x C	Rp. 264.690,00
5.	Keseluruhan biaya pembuatan (E) = C + D	Rp 1.588.140,00

Berdasarkan hasil perhitungan di atas estimasi biaya pembuatan pilar *support* mesin 3D *concrete printing* ini adalah Rp 1.588.140,00. Estimasi biaya pembuatan mesin ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan biaya pembuatan pilar *support* mesin 3D *concrete printing*.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan memfabrikasi pilar support mesin 3D Concrete Printing (3DCP) menggunakan konstruksi Cremona dan besi profil siku dengan fokus pada efisiensi waktu dan biaya. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi ini memberikan stabilitas struktural yang baik serta distribusi beban yang efektif. Estimasi waktu dan biaya yang dihasilkan juga menunjukkan efisiensi proses fabrikasi tanpa mengorbankan kualitas. Inspeksi material terbukti penting dalam memastikan kesesuaian dan kualitas komponen untuk kelancaran proyek. Penelitian ini memberikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam aplikasi teknologi 3DCP pada konstruksi sipil.

5. Referensi

- [1] Ian Gibson, David Rosen, and Brent Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*. New York: Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2015.
- [2] Lim, S., Buswell, R. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G., & Thorpe, T. (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*, 21, 262–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.06.010>
- [3] Hong, S., Park, S., Shin, M., Lee, H. J., & Yoon, H. (2022). Review of 3D printing technology for construction and its cost and time analysis. *Journal of Building Engineering*, 45, 103530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103530>
- [4] Kim, S., Lim, J. H., & Han, S. H. (2021). Cost-effectiveness of 3D concrete printing in structural framework. *Automation in Construction*, 129, 103784. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103784>
- [5] Jerri Jaenuri Miftah, "Perencanaan Pembuatan Pilar Sumbu Y Dengan Konstruksi Kremona pada Mesin 3D Printing Bangunan Sipil," Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, Karya Tulis Ilmiah 2022.
- [6] Lowke, D., & Kloft, H. (2020). Injection 3D Concrete Printing (I3DCP): Basic Principles and Case Studies. *Materials*, 13(5), 1093. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13051093>
- [7] Wolfs, R. J. M., Bos, F. P., & Salet, T. A. M. (2019). Hardened properties of 3D printed concrete: The influence of process parameters on interlayer adhesion. *Cement and Concrete Research*, 119, 132-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.02.017>
- [8] Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2018). Additive manufacturing of concrete in construction: Potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 13(3), 209-225. doi: <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1476064>