

Simulasi Pembebanan Komponen Bender pada Desain Mesin Begel Fabricator Menggunakan Software Autodesk Inventor 2020

Satriawan Dini Hariyanto^{1*}, Wikan Kurniawan²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, Jl. Kalisahak No.28, Klitren, Gondokusuman, Kota Yogyakarta 55222

²Rumah Sakit Akademik Universitas Gadjah Mada, Jl. Kabupaten (Lingkar Utara), Kronggahan, Trihanggo, Gamping, Sleman, Yogyakarta 55291

Penulis korespondensi: *satriawan@akprind.ac.id

Histori artikel: diserahkan 22 Maret 2021, direviu 26 Maret 2021, direvisi 07 April 2021

ABSTRACT

Stress analysis of the bender components in the design of the begel fabricator machine was carried out using FEA (Finite Element Analysis) with three variations of the constituent material parameters, namely 6061 aluminum, mild steel, and cast iron with a modulus of elasticity of 68.9 GPa, 220 GPa, 120.5 GPa, respectively. The test is carried out by a loading parameter 2520 MPa and fixed constraint. The maximum von mises stress and displacement obtained for each material parameter components using aluminum, mild steel, and cast iron are 17.78 MPa; 0.00765, 17.49 MPa; 0.00229, 17.62 MPa; 0.00427 respectively.

Keywords: *Begel, Bender, FEA, Begel fabricator machine*

DOI : <https://doi.org/10.18196/jqt.v2i2.11581>

WEB : <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/11581>

PENDAHULUAN

Rebar (*reinforced bar*) atau baja tulangan merupakan komponen yang banyak digunakan pada bidang konstruksi. Dalam penggunaannya rebar terbagi menjadi dua jenis yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan sirip. Rebar banyak dimanfaatkan sebagai komponen utama dalam pembuatan begel. Begel adalah bagian penyusun konstruksi baja yang digunakan sebagai komponen penahan beban geser yang terjadi pada struktur tulangan kolom beton. Pada umumnya begel dibuat dari rebar yang melalui proses penekukan (*bending*) pada sudut tertentu sesuai standar SNI 03-2847-2002. Metode fabrikasi begel dapat dilakukan dengan menggunakan cara manual dan mesin (*begel fabricator*). Penelitian yang dilakukan oleh (Deepu *et al.*, 2018) menunjukkan besarnya gaya yang dibutuhkan pada proses *bending* baja tulangan berdiameter 8 mm dalam proses pembuatan begel adalah sebesar 196,13 N dengan momen 78,4 N.m untuk sudut penekukan 90°. Ditinjau dari konfigurasi gerakan pada proses *bending*, metode fabrikasi begel menggunakan mesin dapat dilakukan secara langsung dengan memanfaatkan gearbox

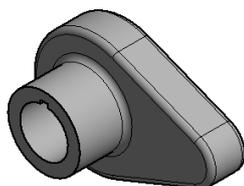
dan komponen *bender* untuk menaikkan torsi poros penekuk baja tulangan. Selain itu, konfigurasi lainnya pada mesin *begel fabricator* adalah dengan berbasis pada konversi gerak rotasi menjadi gerak translasi. Komponen yang bergerak secara translasi digunakan untuk menekan material baja tulangan. Kelebihan mesin *begel fabricator* dengan sistem gerakan translasi antara lain proses pembuatannya lebih mudah dan konstruksinya lebih sederhana. Akan tetapi kelemahan pada mesin jenis ini terletak pada rugi-rugi mekanis yang lebih tinggi akibat adanya konversi gerakan rotasi menjadi translasi, dimensi rangka mesin yang lebih besar, dan dimensi begel yang mampu dihasilkan terbatas. Kelebihan mesin *begel fabricator* dengan konfigurasi langsung adalah alur proses fabrikasi yang lebih pendek sehingga rugi-rugi mekanis yang timbul lebih rendah, perawatan lebih mudah, dan fleksibilitas dimensi begel yang mampu dibuat lebih banyak karena menggunakan motor listrik yang dapat dikontrol dengan mekanisme controller elektronik. Akan tetapi memiliki kelemahan dari jumlah produksi begel yang dihasilkan lebih rendah dibanding jenis mesin berkonfigurasi gerakan translasi. Komponen

yang berpotensi mengalami kegagalan pada proses *bending* pada mesin *begel fabricator* terletak pada komponen *bender* (Shah *et al.*, 2019). *Bender* adalah komponen yang mengalami kontak langsung dengan permukaan baja tulangan saat terjadi proses *bending*. Komponen ini mengalami pembebanan secara berulang pada setiap gerakan penekukan yang terjadi pada proses fabrikasi *begel*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi desain 3D komponen *bender* menggunakan *software* Autodesk Inventor 2020 yang memiliki keunggulan dapat menganalisis tegangan von misss dengan fitur FEA (*Finite Element Analysis*) didalamnya (Hariyanto *et al.*, 2020). Variasi material penyusun komponen *bender* terdiri dari aluminium 6061, *mild steel*, dan besi tuang (*cast iron*) dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada tiap jenis material.

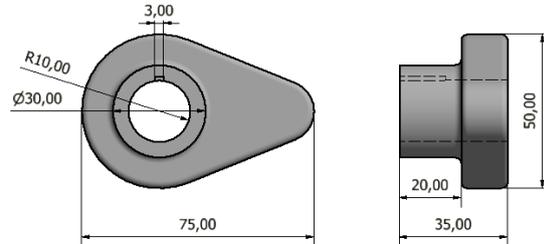
METODE

Tahapan analisis pada metode elemen hingga (FEA) terdiri dari tiga tahapan, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Tahapan *pre-processing* merupakan tahap pembuatan desain tiga dimensi dalam format file ".ipt" (Gambar 1). Tahap *processing* meliputi penentuan lokasi pembebanan, penempatan *constraint*, penentuan besarnya gaya pembebanan, pengaturan *mesh*, dan *running analysis*. Tahap *post processing* merupakan tahapan terakhir yang berhubungan dengan intepretasi data hasil simulasi FEA yang telah dilakukan. Pada tahap *post processing* diperoleh data berupa nilai tegangan *von Misses*, *safety factor*, dan besar *displacement* yang terjadi pada desain *bender*. Pemodelan FEA menggunakan *software* autodesk inventor 2020 merupakan pendekatan sifat fisik komponen struktur dengan asumsi material dalam model bersifat homogen dengan respon linier terhadap tegangan (Afolabi *et al.*, 2019).



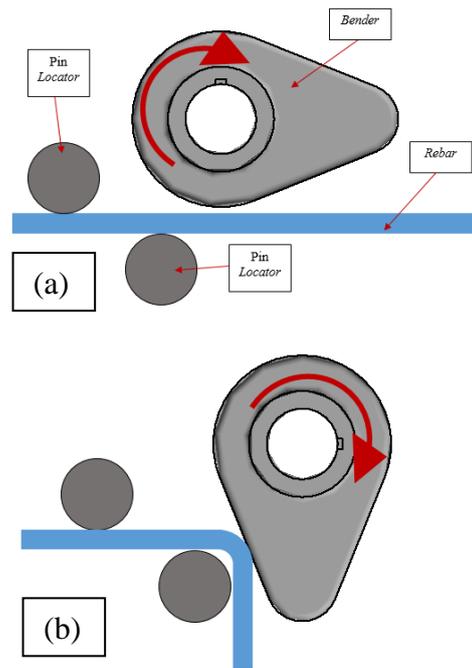
GAMBAR 1. Desain komponen *bender* dalam format file ".ipt"

Komponen *bender* dirancang memiliki dimensi panjang 75 mm dan lebar 50 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada instalasi mesin *begel fabricator*, *bender* dikopel dengan poros berdiameter 20 mm yang terhubung dengan gearbox dengan sumber penggerak motor listrik DC. Gerakan *bender* diatur oleh motor listrik yang terhubung dengan pengendali elektronik berbasis mikrokontroler.



GAMBAR 2. Ukuran *bender* dalam milimeter

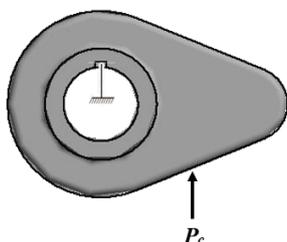
Mekanisme proses *bending* komponen rebar ditunjukkan pada Gambar 3.



GAMBAR 3. Posisi *bender* (a) Sebelum proses *bending* dan (b) Setelah proses *bending*

Gambar 3a menunjukkan ilustrasi rebar yang bergerak menuju titik penekukan yang dikehendaki yang diatur melalui program pengendalian menggunakan mekanisme motor dan mikrokontroler. Saat mencapai lokasi penekukan, komponen *bender* akan bergerak searah jarum jam (Gambar 3b). Berdasarkan pergerakan *bender* pada Gambar 3, dapat dibuat diagram benda bebas yang menunjukkan arah gaya yang mengenai komponen *bender* seperti

ditunjukkan pada Gambar 4. Tumpuan jepit (*fix constraint*) ditempatkan pada posisi ditematkannya pen pada jalur masuknya poros, pen berfungsi sebagai penahan tetap agar komponen *bender* berada pada posisi *rigid* saat proses *bending* dilakukan.



GAMBAR 4. Diagram benda bebas pada *bender*

Tahapan processing dilaksanakan dengan menggunakan data numerik hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. (Deepu *et al.*, 2018) melakukan identifikasi terhadap gaya yang dibutuhkan untuk proses *bending* pada komponen rebar berdiameter 8 mm. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh gaya yang digunakan untuk proses *bending* sebesar 196,13 N. Selain itu, perhitungan teoritis yang dilakukan oleh (Yaghmour *et al.*, 2018) untuk proses *bending* menunjukkan gaya sebesar 840 N dibutuhkan untuk proses *bending* rebar berdiameter 8 mm. Pada penelitian ini gaya pembebanan yang dipakai adalah sebesar 2520 N yang diperoleh dari perkalian nilai 840 N dengan konstanta faktor keamanan sebesar 3 seperti ditunjukkan pada Persamaan 1. Nilai pembebanan (P_c) untuk tiap-tiap jenis material *bender* ditunjukkan pada Tabel 2. Penelitian uji tarik terhadap baja rebar yang dilakukan oleh (Subagiyo *et al.*, 2017) bertujuan untuk mencari nilai *yield strength* baja tulangan (Tabel 1). Properti mekanis material *bender* mengacu pada data material yang terdapat di *software Autodesk Inventor Library*.

TABEL 1. Nilai rata-rata tegangan *yield* dan tegangan *ultimate* (Subagiyo *et al.*, 2017)

Diameter rebar bersirip (mm)	Nilai rata-rata		
	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	ϵ (%)
Ø 10	523,65	675,88	40,9
Ø 13	475,48	651,06	39,3
Ø 16	484,55	649,35	36,1
Ø 18	422,49	610,50	38,4

Nilai pembebanan (P_c) yang diberikan pada komponen *bender* dirumuskan dengan :

$$P_c = P_t * C \tag{1}$$

dengan P_c = Pembebanan pada *bender* (N/mm²), P_t = tegangan teoritis, C = konstanta. Nilai rata-rata tertinggi untuk σ_u terdapat pada rebar berdiameter 10 mm. Besarnya nilai ini dapat dipengaruhi oleh fenomena *strain hardening* yang muncul saat proses fabrikasi sirip pada komponen rebar. Sifat fisik material aluminium, mild steel, dan cast iron secara berurutan ditunjukkan oleh Tabel 3a, Tabel 3b, dan Tabel 3c.

TABEL 2. Nilai pembebanan (P_c) untuk tiap jenis material *bender*

Material	P_t (N)	Konstanta (C)	P_c (N)
Aluminium	840	3	2520
Mild Steel	840	3	2520
Cast Iron	840	3	2520

TABEL 3a. Sifat fisik material Aluminium 6061

Material	Aluminium 6061
Density	2,7 g/cm ³
Mass	0,11 kg
Area	11289,6 mm ²
Volume	42412,9 mm ³
Yield Strength	275 MPa
Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Young's Modulus	68,9 GPa
Poisson's Ratio	0,33
Shear Modulus	25,9023 GPa

TABEL 3b. Sifat fisik material Mild Steel

Material	Mild Steel
Density	7,85 g/cm ³
Mass	0,332942 kg
Area	11289,6 mm ²
Volume	42412,9 mm ³
Yield Strength	207 MPa
Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Young's Modulus	220 GPa
Poisson's Ratio	0,27
Shear Modulus	86,2745 GPa

TABEL 3c. Sifat fisik material *Cast Iron*

Material	Cast Iron
Density	7,15 g/cm ³
Mass	0,30 kg
Area	11289,6 mm ²
Volume	42412,9 mm ³
Yield Strength	758 MPa
Ultimate Tensile Strength	884 MPa
Young's Modulus	120,5 GPa
Poisson's Ratio	0,30
Shear Modulus	46,3462 GPa

Setting mesh dan parameter analisis tegangan yang digunakan pada simulasi pembebanan *bender* menggunakan software Autodesk Inventor 2020 ditunjukkan pada Tabel 4.

TABEL 4. Parameter analisis tegangan

Parameter	Keterangan
Tipe simulasi	Static analysis
Constraint	Fix constraint
Force load	2520 N
Average element size	0,01
Grading factor	1,5
Safety factor	Berdasarkan yield strength
Jumlah node	717038
Jumlah elemen	507873

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

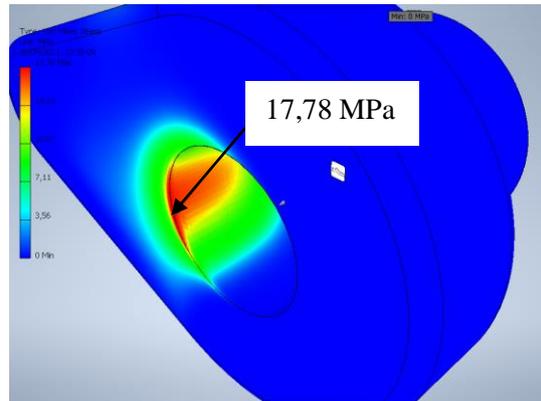
Data numerik simulasi pembebanan menggunakan *finite element analysis* (FEA) pada software Autodesk Inventor 2020 ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5. Data numerik hasil simulasi FEA

Material	Von Misses Stress Max (MPa)	Yield Strength (Mpa)	Displacement (mm)
Aluminium 6061	17,78	275	0,00765
Mild Steel	17,49	207	0,00229
Cast Iron	17,62	758	0,00427

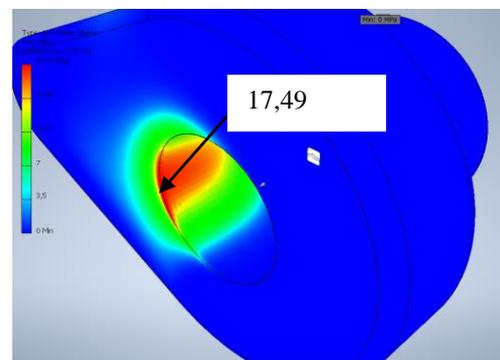
Pembebanan sebesar 2520 MPa yang terjadi pada komponen *bender* berbahan aluminium menunjukkan nilai tegangan *von misses* tertinggi yang timbul adalah sebesar 17,78 MPa dengan *displacement* 0,00765 mm. Pola

persebaran tegangan akibat reaksi dari pembebanan pada material aluminium 6061 ditunjukkan pada Gambar 5.



GAMBAR 5. Lokasi tegangan von misses maksimum pada material Aluminium 6061

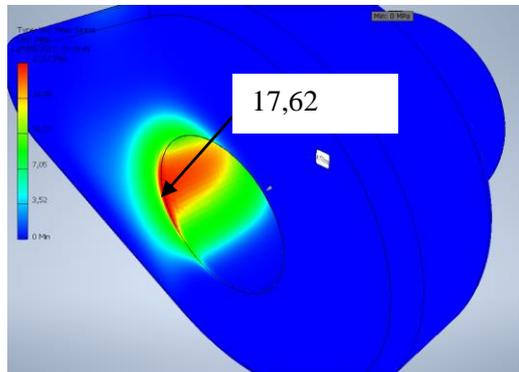
Apabila dibandingkan dengan nilai *yield strength* material aluminium 6061 pada Tabel 3a, maka nilai tegangan yang muncul dari proses pembebanan masih berada pada zona elastis material tersebut sehingga defleksi sebesar 0,00765 mm tidak mengubah bentuk komponen *bender* secara permanen. Tinjauan terhadap *bender* yang terbuat dari material *mild steel* menampilkan sebaran tegangan yang ditunjukkan Gambar 6.



GAMBAR 6. Lokasi tegangan von misses maksimum pada material *mild steel*

Tegangan *von misses* maksimum yang terjadi pada *bender* berbahan *mild steel* sebesar 17,49 MPa. Nilai tersebut lebih rendah dibanding nilai *yield strength mild steel* sebesar 207 MPa. Hal ini menunjukkan, simulasi pembebanan sebesar 2520 MPa pada material *mild steel* masih berada pada zona elastis, sehingga defleksi yang terjadi tidak mengubah bentuk komponen *bender* secara permanen. Material *cast iron* dengan nilai *yield strength* 758 MPa dengan pembebanan 2520 MPa secara simulasi menunjukkan pola yang sama dengan material

aluminium 6061 dan *mild steel*. Tegangan *von misses* maksimum yang timbul akibat pembebanan adalah sebesar 17,62 MPa dengan nilai *displacement* 0,00427 mm. Sebaran tegangan *von misses* untuk material *cast iron* ditunjukkan pada Gambar 7.



GAMBAR 7. Lokasi tegangan *von misses* maksimum pada material *cast iron*

Ketiga material memiliki lokasi tegangan *von misses* maksimal dan sebaran yang identik. Hal ini disebabkan oleh nilai numerik dari reaksi tegangan yang timbul akibat pembebanan berada pada rentang yang berdekatan (Tabel 5). Material *cast iron* yang memiliki nilai *yield strength* 758 MPa dan sifat lebih getas dibandingkan aluminium dan *mild steel* menunjukkan respon nilai tegangan *von misses* yang identik dengan material *mild steel* dengan nilai *yield strength* 3,6 kali lebih rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh metode penghitungan distorsi energi yang ada pada *software* yang lebih sesuai untuk menghitung nilai tegangan *von misses* pada material elastis (Budynas & Nisbett, 2011). Tinjauan lebih lanjut dengan metode eksperimen diperlukan untuk mengetahui respon nyata ketiga material penyusun komponen *bender* untuk memvalidasi hasil simulasi yang telah dilakukan.

KESIMPULAN

Simulasi pembebanan desain komponen *bender* yang terbuat dari material aluminium 6061, *mild steel*, dan *cast iron* menunjukkan respon tegangan *von misses* maksimum pada rentang 17-18 MPa. Tegangan *von misses* maksimum yang timbul bernilai lebih rendah dari nilai *yield* masing-masing material. Simulasi menunjukkan nilai *safety factor* pada desain *bender* sebesar 15 yang merupakan kategori

aman untuk digunakan sebagai komponen penyusun mesin *begal fabricator*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afolabi, S. O., Oladapo, B. I., Ijagbemi, C. O., Adeoye, A. O. M., & Kayode, J. F. (2019). Design and finite element analysis of a fatigue life prediction for safe and economical machine shaft. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.10.007>
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (9th ed.). McGrawHill.
- Deepu, S., Vishnu, R. S., Harish, M. T., & Bhavani, R. R. (2018). An Experimental Study of Force Involved in Manual Rebar Bending Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/310/1/012050>
- Hariyanto, S.D., Papasi, R.G., Munthohani, G.R., Lanekri, I.T. and Sastika, I.P., 2020. Perancangan dan Fabrikasi Mesin Pengolah Ubi Kayu untuk Produksi Makanan Ringan Lanting Kapasitas 40 kg/jam. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 2(1), pp.38-46.
- Shah, A. K., Kumar, N., Vignesh, M., & Khanna, P. (2019). Design and fabrication of automatic rebar bending machine. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018*, 1010–1013. <https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8675068>
- Subagiyo, Sarjiyana, & Wirawan. (2017). Analisis kekuatan tarik besi beton ulir berdasarkan diameternya. *Seminar Nasional Terapan Teknologi 2016 POLINEMA, November 2016*, 97–101.
- Yaghmour, B. B., Qwasmh, S. H., & Abuafifeh, I. F. (2018). *Automatic Rebar Bending Machine to Form Rectangular Stirrups*.