

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Berdasarkan hasil simulasi, variasi *mass retain* (90%, 80%, 70%, 60%) berpengaruh signifikan terhadap peningkatan tegangan *von Mises* pada desain *bell crank*. Penurunan massa dari 90% ke 60% menyebabkan kenaikan tegangan rata-rata pada semua material (Aluminium 6061, Baja Karbon, Baja Paduan). Tegangan tertinggi terjadi pada *mass retain* 60% (Aluminium: 166,398 MPa, Baja Karbon: 166,275 MPa, Baja Paduan: 166,309 MPa), sementara terendah pada *mass retain* 90% (87,239–87,316 MPa). Kenaikan ini disebabkan berkurangnya material yang menahan beban, sehingga distribusi tegangan lebih terkonsentrasi pada area tersisa. Meski demikian, nilai tegangan tetap di bawah *yield strength* material yang menjamin keamanan struktural.
2. Pengurangan *mass retain* meningkatkan nilai *displacement* pada *bell crank*. Pada *mass retain* 90%, *displacement* terendah terjadi di Baja Paduan (0,264 mm) dan tertinggi di Aluminium 6061 (0,786 mm). Saat massa turun ke 60%, nilai *displacement* naik untuk Aluminium 6061 (menjadi 1,198 mm) dan untuk Baja (Baja Karbon: 0,413 mm, Baja Paduan: 0,403 mm). Peningkatan ini disebabkan penurunan kekakuan struktur akibat reduksi material, dengan Aluminium 6061 paling rentan karena modulus elastisitasnya lebih rendah (68,90 GPa) dibanding Baja Paduan (205,00 GPa) dan Baja Karbon (200,00 GPa).
3. Optimasi topologi dengan reduksi massa hingga 60% menurunkan faktor keamanan (*safety factor*) tetapi tetap memenuhi batas minimal aman ($SF > 1,5$). Pada *mass retain* 90%, SF tertinggi dicapai Baja Karbon (4,008) dan terendah Baja Paduan (2,864). Saat massa turun ke 60%, SF Aluminium 6061 berkurang dari 3,152 menjadi 1,65, Baja Karbon dari 4,008 ke 2,105, dan Baja Paduan dari 2,864 ke 1,503. Meski SF menurun, nilai terendah

(1,503 pada Baja Paduan) masih di atas batas kritis 1,5, membuktikan desain tetap aman meski dengan *mass retain* 60%.

4. Proses *generate NC Program* diawali dengan penerapan model geometri hasil optimasi topologi (*mass retain* 60%, material Aluminium 6061) ke dalam perangkat lunak *Autodesk Fusion 360*, dilanjutkan dengan konfigurasi *setup* mesin CNC (*Fanuc Robodrill Alpha D21LiB5 Plus*), penentuan dimensi benda kerja (*stock* dengan *offset* samping/atas 1 mm), serta melakukan operasi pemesian: (1) *facing* untuk perataan permukaan, (2) *2D adaptive clearing* kontur luar, (3) *2D adaptive clearing area internal*, dan (4) *2D contour* untuk *finishing*. Kemudian *G-code* diekspor via *post-processor* spesifik mesin *Fanuc*, menghasilkan program NC (72,295 baris kode) dengan total waktu pemesian 23 menit 2 detik.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran kepada para pembaca dan peneliti setelah ini, yaitu:

1. Uji coba eksperimental secara langsung perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk memastikan bahwa hasil simulasi sesuai dengan kondisi sebenarnya.
2. Menambah variasi penelitian dengan analisis dinamis karena pada penelitian ini hanya menggunakan analisis statis.
3. Meneliti kombinasi CNC dan 3D printing untuk kontur geometri yang sulit dicapai dengan *endmill* konvensional, sekaligus meminimalkan sisa material.