

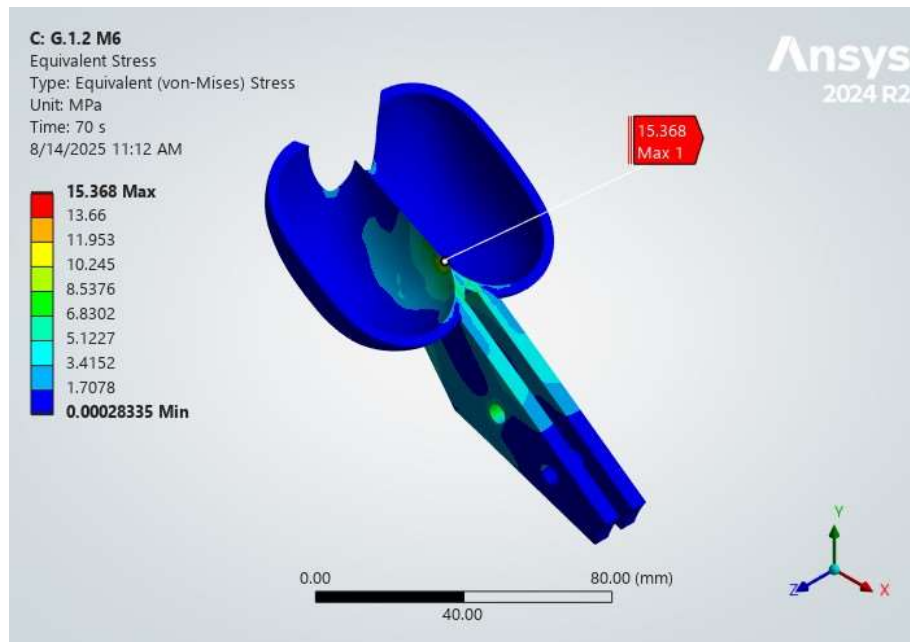
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

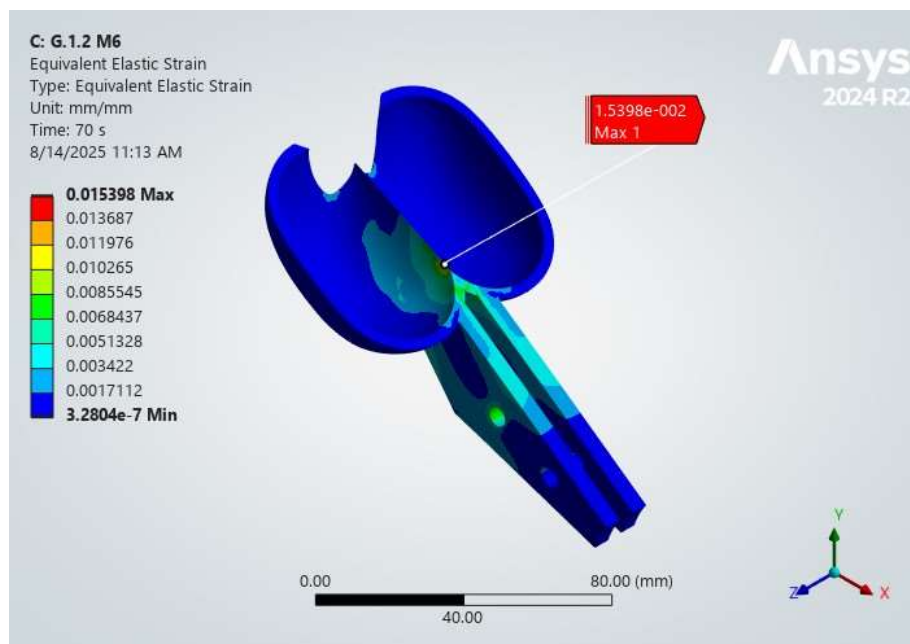
Fokus penelitian yang penyusun lakukan adalah analisis kekuatan struktur desain sudu turbin Pelton poros horizontal. Analisis tersebut dilakukan dengan metode FEA menggunakan *software* ANSYS dengan sistem analisis *Transient Structural*. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh lima komponen hasil sesuai dengan *solution* yang dimasukkan yaitu *equivalent stress* (von-Mises), *equivalent strain* (von-Mises), deformasi, *life*, dan *factor of safety* (FOS). Hasil analisis tersebut selanjutnya diinterpretasikan dan dilakukan pembahasan.

4.1 Geometri 1

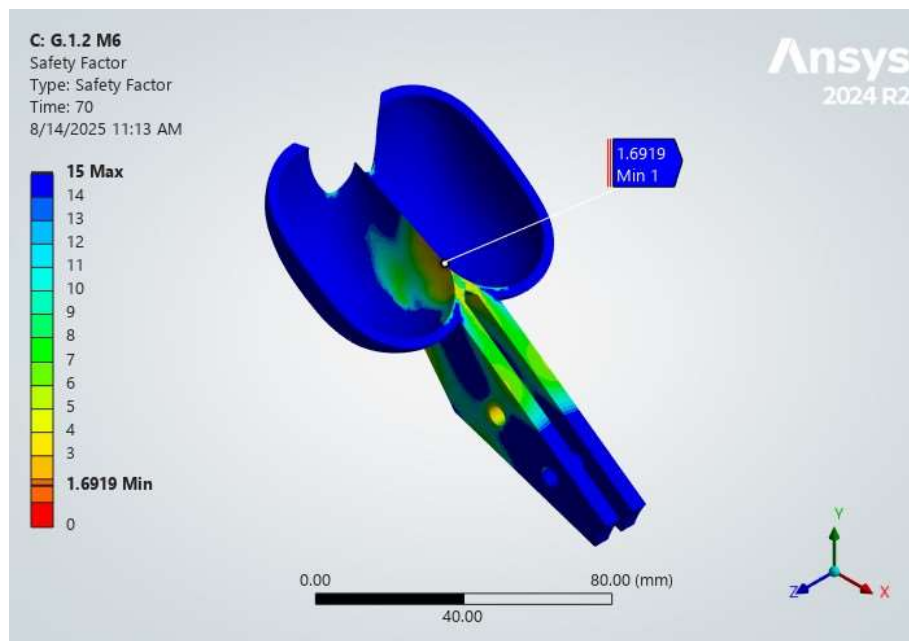
Hasil simulasi FEA pada geometri 1 dapat diinterpretasikan dengan melihat hasil analisis pada *solution* yang dimasukkan. Gambar 4.1 hingga 4.5 menunjukkan hasil simulasi FEA pada geometri 1.



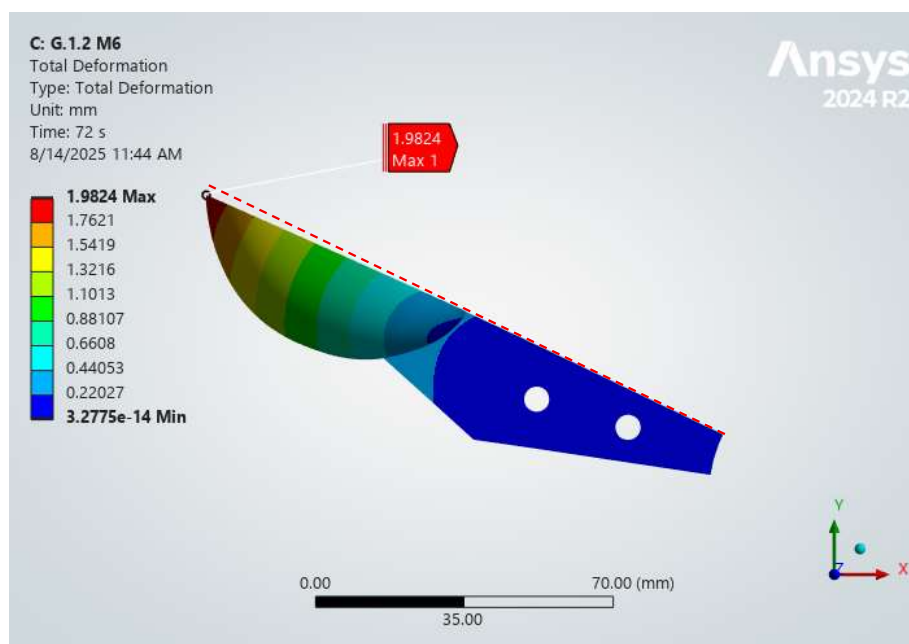
Gambar 4.1 *Equivalent Stress* Geometri 1



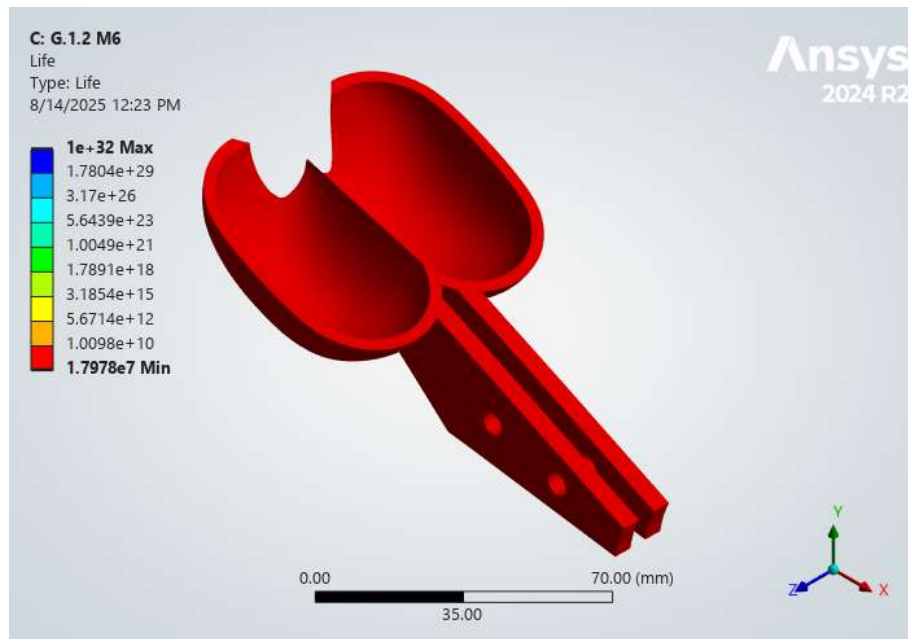
Gambar 4.2 *Equivalent Strain* Geometri 1



Gambar 4.3 FOS Geometri 1



Gambar 4.4 Deformasi Geometri 1



Gambar 4.5 *Life Geometri 1*

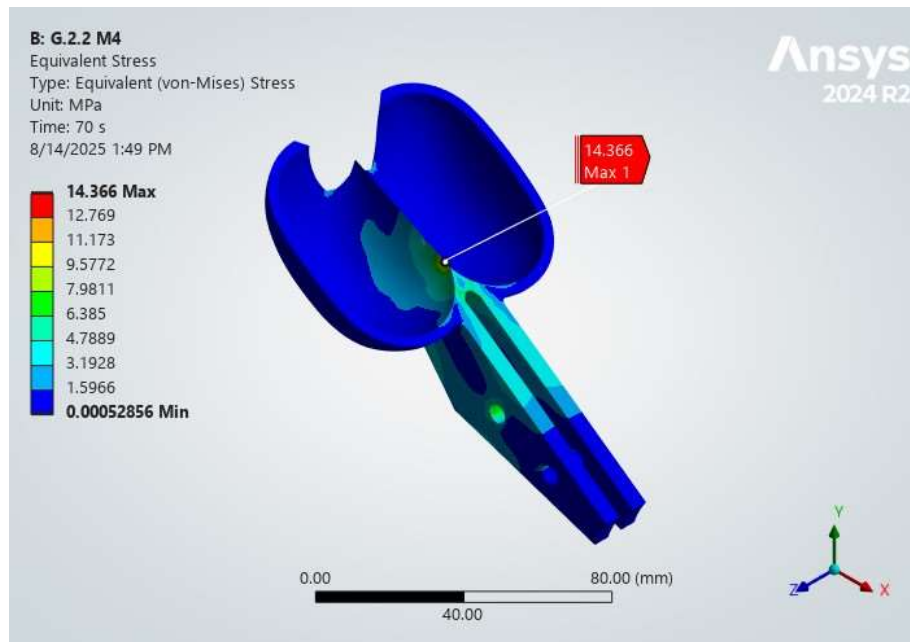
Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan dan regangan von-Mises maksimum yang terjadi pada geometri 1 ketika mengalami pembebanan secara berturut-turut adalah 15,368 MPa dan $1,5398e-002$ mm/mm. Nilai maksimum tersebut diperoleh ketika sudu berada pada *step* 70, dimana posisi sudu berada di 350° . Berdasarkan nilai tegangan von-Mises maksimum yang terjadi juga dapat diperoleh nilai FOS minimum yaitu 1,6919. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah nilai tegangan luluh material yang memiliki nilai sebesar 26 MPa. Meskipun demikian, nilai FOS tersebut kurang memenuhi nilai minimum yang disarankan yaitu mendekati tiga (Eisenring, 1991). Deformasi yang terjadi dapat terlihat dengan memperhatikan penyimpangan geometri sudu dan garis putus-putus yang menjadi acuan bentuk awalnya.

Deformasi yang terjadi pada geometri 1 berada di angka 1,9824 mm. Nilai deformasi tersebut diperoleh ketika sudu berada pada posisi awal mula yaitu 0° atau 360° . Hal tersebut dilakukan karena besar nilai deformasi dipengaruhi oleh seberapa jauh perubahan posisi geometri ketika mengalami pembebanan terhadap posisi awal, sedangkan diketahui bahwa pada simulasi FEA ini ketiga geometri sudu bergerak berputar dengan dimensi lintasan yang sama serta dengan dimensi sudu yang identik. Oleh sebab itu, nilai deformasi maksimum yang terjadi tidak dapat menjadi hasil karena memiliki besaran nilai yang sama, maka diambil sampel nilai deformasi ketika sudu berada pada posisi awal.

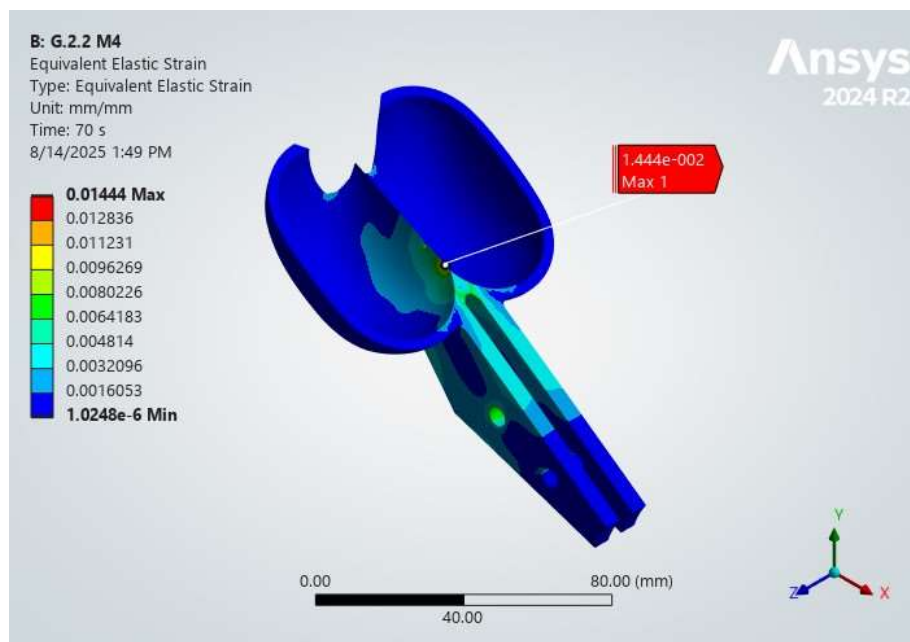
Analisis FEA tersebut juga menghasilkan nilai *life* geometri 1. *Life* menunjukkan banyaknya siklus pembebanan yang mampu diterima geometri sudu turbin. Semakin besar nilai minimum *life* pada geometri maka dapat dikatakan semakin baik keandalan suatu desain dan semakin lama masa pakai sudu dengan geometri tersebut. Hasil *life* menunjukkan bahwa geometri mampu menerima jumlah minimum pembebanan berulang hingga 17.978.000 siklus atau sekitar 1.109,753 jam sebelum risiko kegagalan dapat terjadi.

4.2 Geometri 2

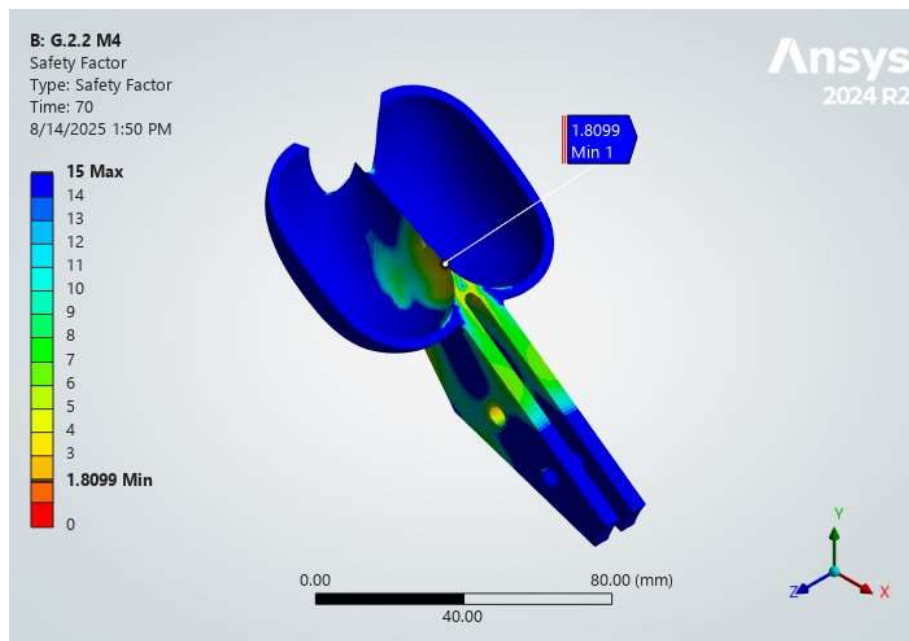
Hasil simulasi FEA pada geometri 2 dapat diinterpretasikan dengan melihat hasil analisis pada *solution* yang dimasukkan. Gambar 4.6 hingga 4.10 menunjukkan hasil simulasi FEA pada geometri 2.



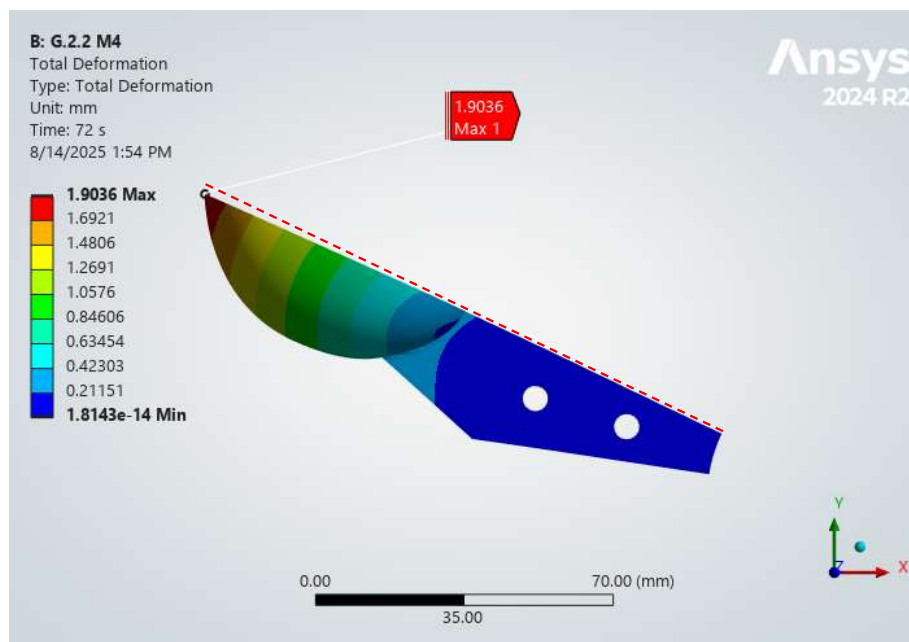
Gambar 4.6 *Equivalent Stress* Geometri 2



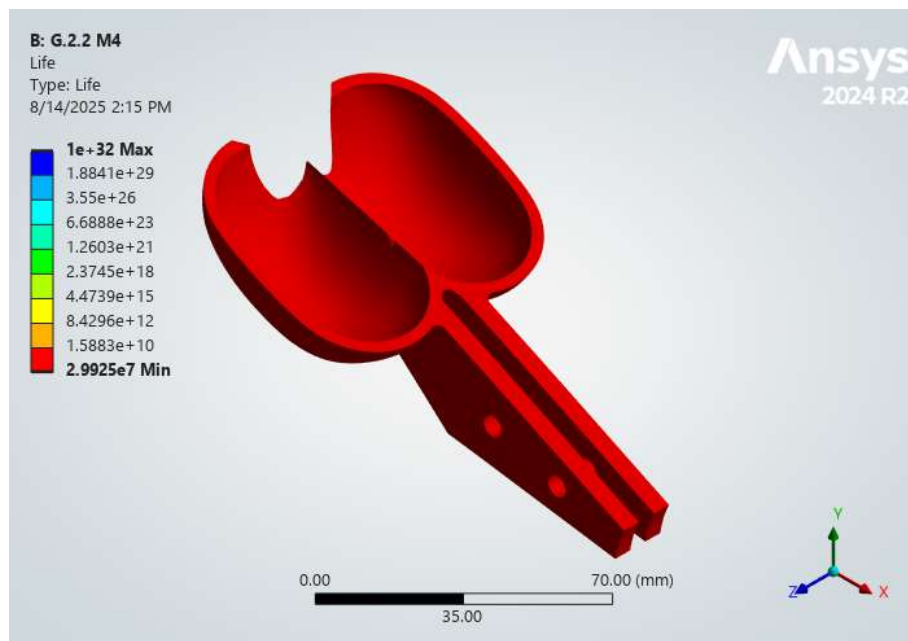
Gambar 4.7 *Equivalent Strain* Geometri 2



Gambar 4.8 FOS Geometri 2



Gambar 4.9 Deformasi Geometri 2



Gambar 4.10 *Life* Geometri 2

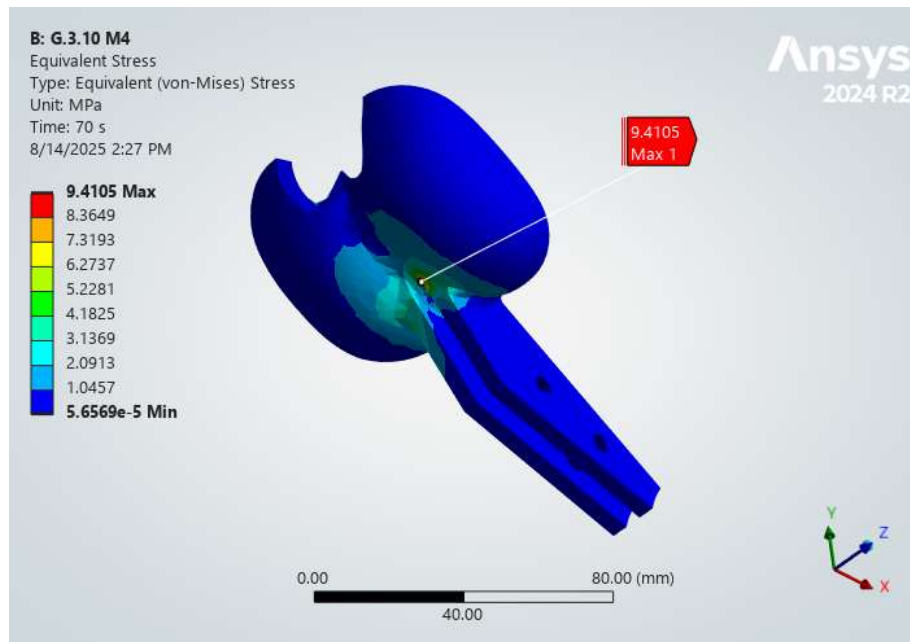
Hasil analisis pada geometri 2 menunjukkan nilai tegangan dan regangan von-Mises secara berturut-turut adalah 14,366 MPa dan 1,444e-002 mm/mm. Sama halnya dengan geometri 1, tegangan dan regangan von-Mises maksimum yang terjadi diperoleh ketika sudu berada pada *step* 70. Hasil tegangan yang diperoleh juga menjadi parameter dalam analisis nilai FOS minimum geometri 2 yang memiliki nilai 1,8099. Berkaca dari nilai FOS minimum yang dimiliki, tegangan von-Mises maksimum yang dimiliki geometri 2 masih berada di bawah nilai kekuatan luluh material sudu yang memiliki nilai 26 MPa. Namun, nilai FOS tersebut belum cukup mendekati nilai minimum yang disarankan dalam perancangan sudu turbin Pelton menurut Eisenring, yaitu mendekati tiga (Eisenring, 1991).

Nilai deformasi yang diperoleh pada analisis struktur geometri 2 ini berada di angka 1,9036 mm. Sama halnya dalam analisis yang dilakukan pada geometri 1, nilai tersebut diperoleh ketika sudu berada di posisi awal. Deformasi yang terjadi tersebut dapat dilihat secara kasat mata dengan memperhatikan geometri dan garis putus-putus yang menjadi acuan bentuk awalnya.

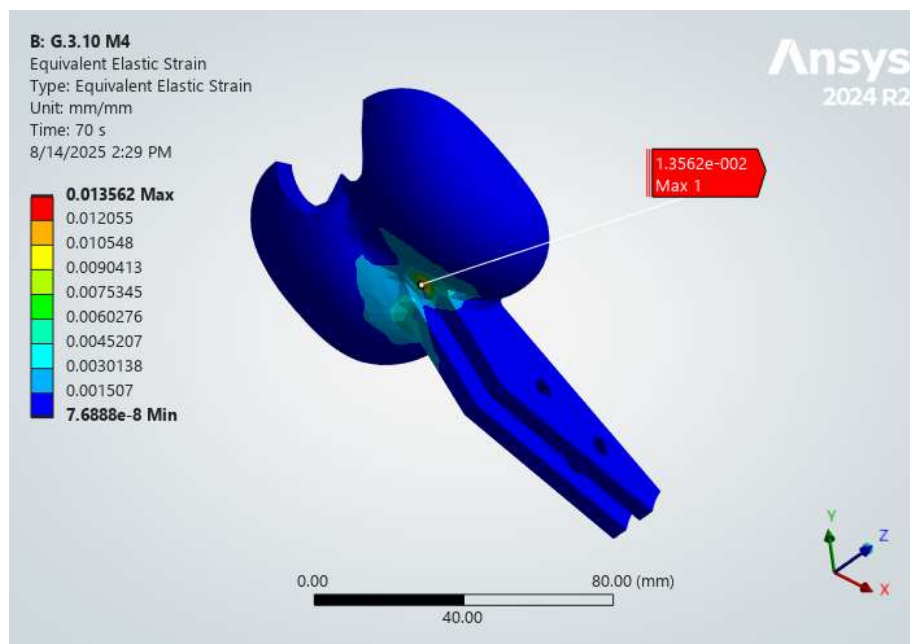
FEA yang dilakukan pada geometri 2 juga menghasilkan nilai *life* minimum yang menunjukkan minimal banyaknya siklus pembebanan yang mampu diterima geometri sudu. Hasil *life* menunjukkan bahwa geometri 2 mampu menerima jumlah minimum pembebanan berulang sampai 29.925.000 siklus atau sekitar 1.847,222 jam sebelum risiko kegagalan dapat terjadi.

4.3 Geometri 3

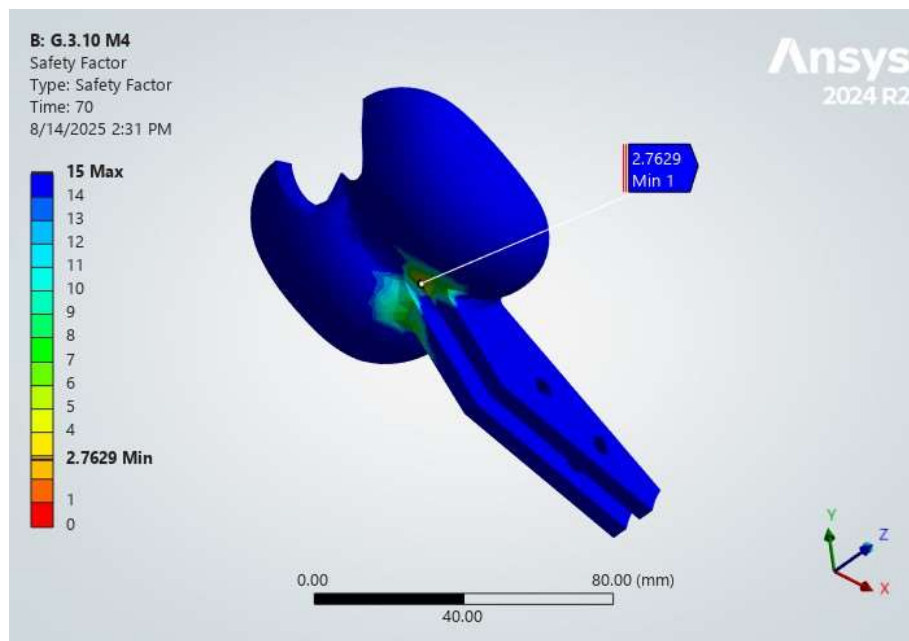
Hasil simulasi FEA pada geometri 3 dapat diinterpretasikan dengan melihat hasil analisis pada *solution* yang dimasukkan. Gambar 4.11 hingga 4.15 menunjukkan hasil simulasi FEA pada geometri 3.



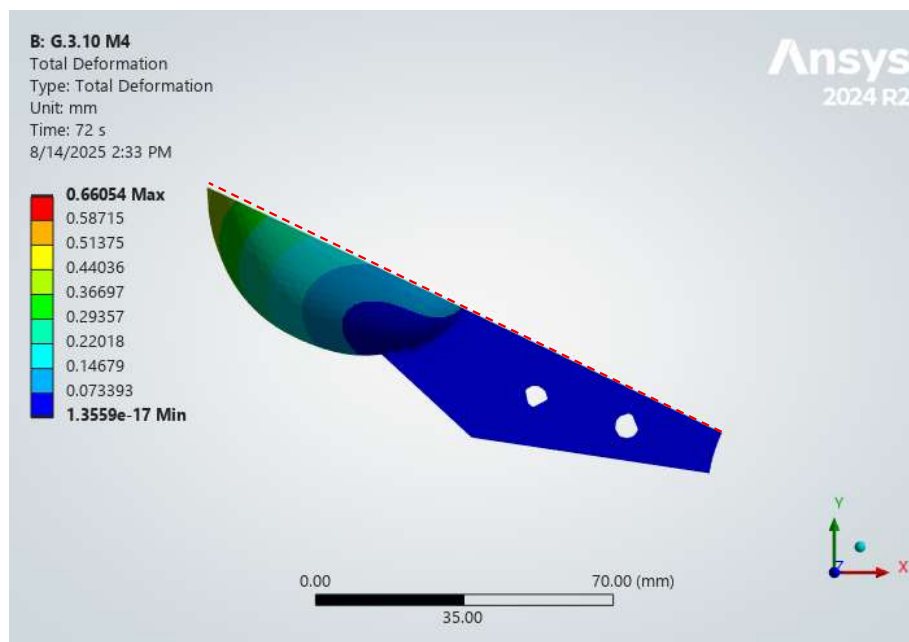
Gambar 4.11 *Equivalent Stress* Geometri 3



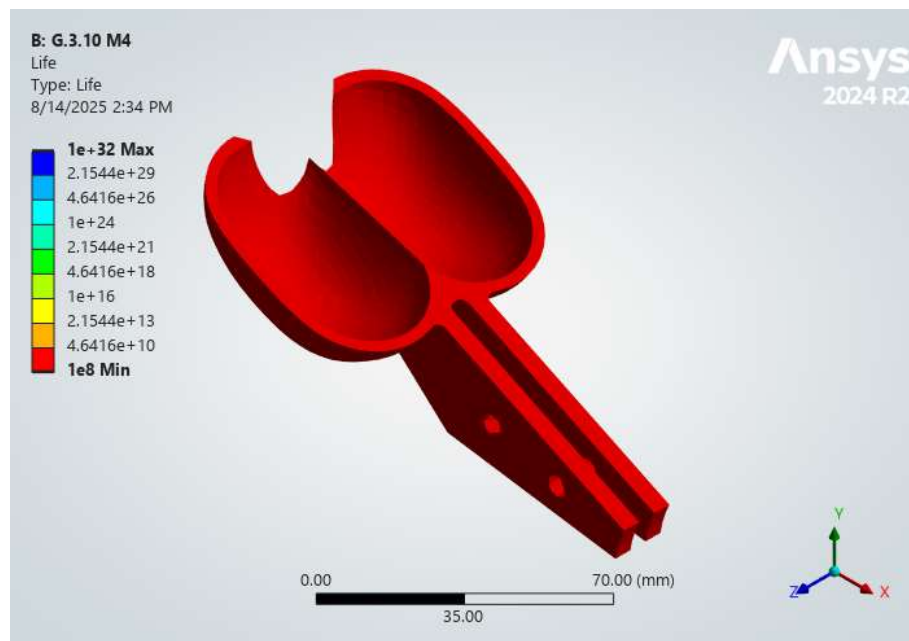
Gambar 4.12 *Equivalent Strain* Geometri 3



Gambar 4.13 FOS Geometri 3



Gambar 4.14 Deformasi Geometri 3



Gambar 4.15 *Life* Geometri 3

Hasil FEA pada geometri 3 menunjukkan nilai tegangan dan regangan von-Mises maksimum secara berturut-turut adalah 9,4105 MPa dan 1,3562e-002 mm/mm. Sama halnya dengan geometri 1 dan 2, tegangan dan regangan von-Mises maksimum yang terjadi diperoleh ketika sudu berada pada *step* 70. Hasil tegangan maksimum tersebut juga menjadi parameter dalam analisis nilai FOS minimum geometri 3. Nilai FOS minimum yang dimiliki geometri 3 adalah 2,7629, dimana hal tersebut juga menunjukkan bahwa tegangan von-Mises maksimum yang dimiliki geometri 3 berada di bawah nilai kekuatan luluh material sudu yang memiliki nilai 26 MPa. Nilai FOS tersebut juga cukup mendekati nilai minimum yang disarankan dalam perancangan sudu turbin Pelton menurut Eisenring, yaitu mendekati tiga (Eisenring, 1991).

Hasil deformasi yang diperoleh pada analisis struktur geometri 2 ini berada di angka 0,66054 mm. Nilai tersebut diperoleh ketika sudu berada di posisi awal, sama halnya dengan geometri 1 dan 2. Deformasi yang terjadi tersebut juga dapat dilihat secara kasat mata dengan memperhatikan geometri dan garis putus-putus yang menjadi acuan bentuk awalnya. Terlihat bahwa penyimpangan yang terjadi pada geometri sudu lebih rendah dibandingkan dengan penyimpangan yang terjadi pada geometri 1 dan 2.

Sedangkan nilai *life* minimum yang diperoleh dari analisis FEA geometri 3 adalah 100.000.000 siklus. Hal ini menunjukkan bahwa geometri 3 mampu menerima jumlah minimum pembebanan berulang selama kurang lebih 6.172,839 jam sebelum risiko kegagalan dapat terjadi, dimana nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan geometri 1 maupun 2.

4.4 Perbandingan Hasil Simulasi

Hasil-hasil analisis kekuatan struktur dengan metode FEA terhadap tiga geometri sudu turbin Pelton selanjutnya dibandingkan satu sama lain. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui desain geometri sudu turbin yang paling optimal dalam mengakomodir keperluan sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal. Tabel 4.1. menunjukkan hasil-hasil analisis kekuatan struktur dari ketiga geometri sudu turbin Pelton.

Tabel 4.1 Hasil-hasil FEA Geometri Sudu Turbin Pelton

Hasil Analisis	Geometri 1	Geometri 2	Geometri 3
<i>Equivalent Stress (von-Mises)</i>	15,368 MPa	14,366 MPa	9,4105 MPa
<i>Equivalent Strain (von-Mises)</i>	0,015398 mm/mm	0,01444 mm/mm	0,013562 mm/mm
<i>Factor of Safety (FOS)</i>	1,6919	1,8099	2,7629
Deformasi	1,9824 mm	1,9036 mm	0,66054 mm
<i>Life</i>	17.978.000 siklus	29.925.000 siklus	100.000.000 siklus

Perbandingan hasil-hasil analisis kekuatan struktur sudu turbin Pelton menunjukkan bahwa tegangan dan regangan von-Mises maksimum terbesar terjadi pada geometri 1. Sedangkan nilai tegangan von-Mises maksimum terkecil dan nilai regangan von-Mises maksimum terkecil terjadi pada geometri 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa geometri 3 lebih mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata dibanding dengan geometri 1 dan 2.

Nilai tegangan von-Mises maksimum yang terjadi pada ketiga geometri sudu juga menjadi parameter penentu nilai FOS yang dimiliki oleh geometri desain sudu turbin Pelton. Dimana geometri 3 memiliki nilai FOS minimum terbesar dengan nilai 2,7629, sedangkan nilai FOS minimum terkecil dimiliki oleh geometri 1 dengan nilai 1,6919. Nilai FOS minimum yang dimiliki geometri 3 menunjukkan bahwa geometri 3 memiliki tingkat keamanan yang lebih baik dibanding dua geometri lainnya. Selain itu, nilai FOS minimum yang dimiliki oleh geometri 3 juga sudah cukup mendekati nilai FOS minimum yang disarankan dalam perancangan sudu turbin Pelton yaitu 3.

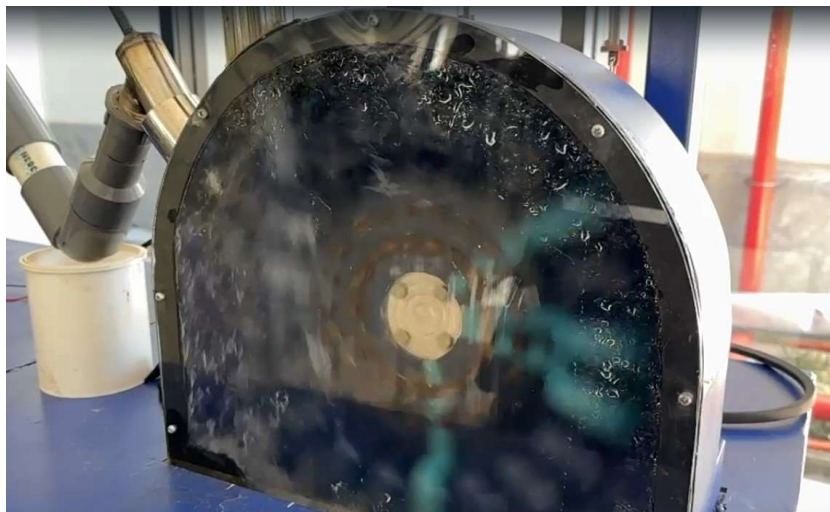
Berdasarkan perbandingan hasil-hasil analisis tersebut juga diperoleh besar deformasi yang terjadi akibat pembebanan. Deformasi terbesar terjadi pada geometri 1 dengan penyimpangan maksimum terhadap geometri awal sebesar 1,9824 mm. Sedangkan deformasi terkecil terjadi pada geometri 3 dengan penyimpangan maksimum terhadap geometri awal sebesar 0,66054 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa geometri 3 memiliki rigiditas yang lebih baik dibandingkan dua geometri lainnya.

Perbandingan hasil-hasil analisis yang terakhir adalah *life*. Pada tabel 4.1 dapat terlihat bahwa nilai *life* minimum terbesar dimiliki oleh geometri 3 dengan 100.000.000 siklus. Hal tersebut dapat diartikan bahwa geometri 3 mampu menerima pembebanan berulang minimum sebanyak 100.000.000 siklus atau 6.172,839 jam nonstop sebelum terjadinya kemungkinan kegagalan. Sedangkan nilai *life* terkecil dimiliki oleh geometri 1 dengan 17.978.000 siklus atau 1.109,753 jam sebelum terjadinya kemungkinan kegagalan.

Berdasarkan perbandingan seluruh hasil analisis kekuatan struktur ketiga geometri sudu turbin, dapat ditentukan desain geometri sudu yang paling optimal untuk sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang dirancang. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa geometri 3 merupakan geometri paling optimal untuk mengakomodir sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang dirancang. Setelah diperoleh desain yang paling optimal, maka dilanjutkan dengan proses manufaktur sudu menggunakan alat 3D *printer*.

4.5 Uji Fungsi

Uji fungsi dilakukan dengan mengoperasikan *test bed*. Pengoperasian *test bed* dilakukan dengan berbagai konfigurasi seperti variasi head, debit, maupun putaran. Berdasarkan uji fungsi yang telah dilakukan, didapati bahwa sudu turbin Pelton yang dirancang mampu menerima pembebanan variatif dari sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal. Sudu turbin tidak mengalami kerusakan atau deformasi plastis akibat pembebanan yang dilakukan. Uji fungsi menunjukkan bahwa desain sudu terpilih mampu memutar turbin hingga 518,1 rpm dengan konfigurasi *head* 20 m dan debit air 5 m³/jam. Pada konfigurasi yang sama, daya puncak yang dihasilkan menggunakan sudu turbin tersebut dapat mencapai 9,7 Watt. Selain itu, dengan putaran turbin yang dijaga pada 160 rpm, torsi yang dihasilkan dapat mencapai 0,97 Nm.



Gambar 4.16 Uji Fungsi