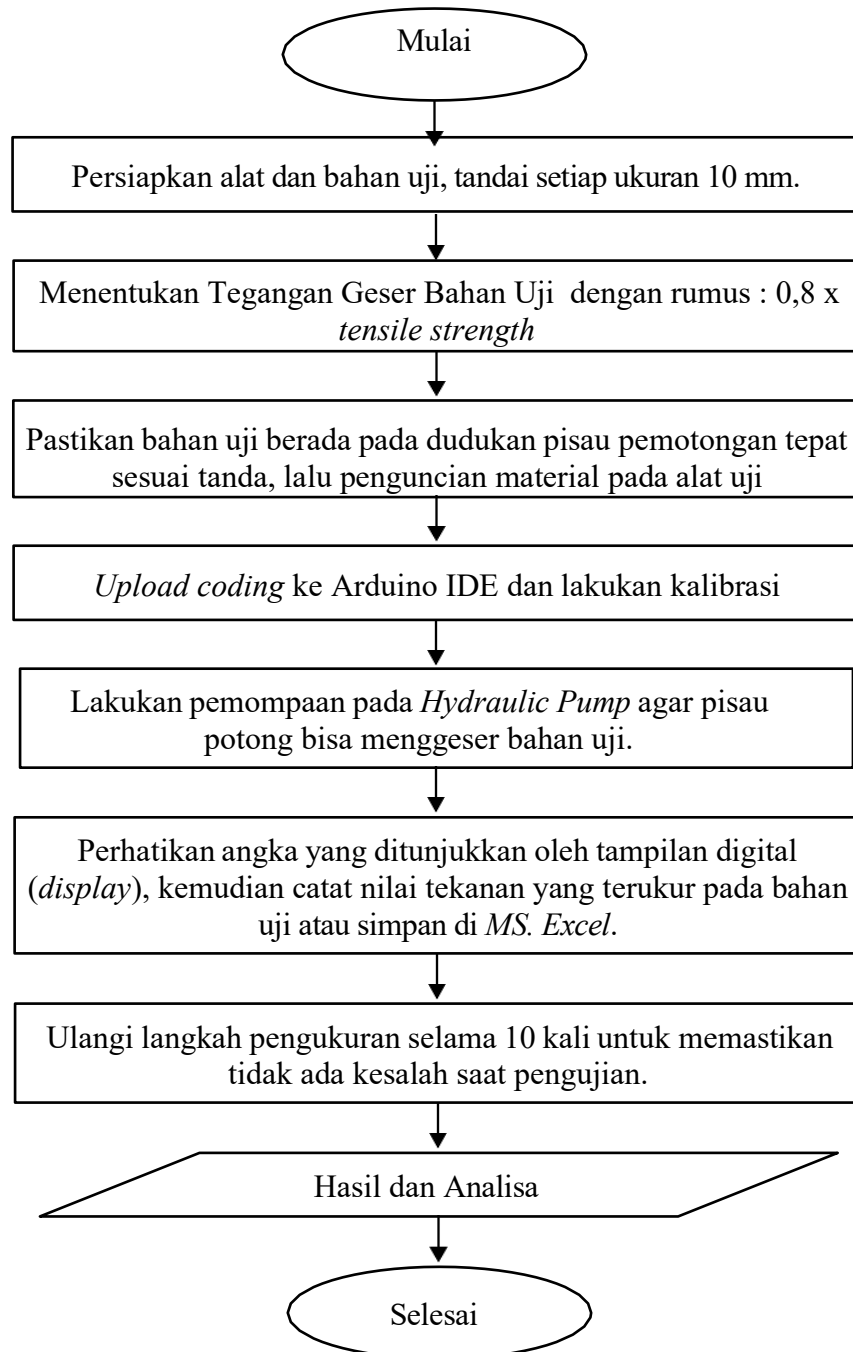


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosedur Pengujian

Berikut prosedur yang dilakukan pada pengujian geser dalam bentuk *flowchart*, sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Prosedur pengujian

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan secara sistematis untuk menguji ketahanan geser material *Stainless Steel 304* menggunakan alat pengujian geser (*shearing*) :

1. Persiapan Alat dan Bahan

Siapkan seluruh perlengkapan yang dibutuhkan, yaitu: alat uji *shearing*, spesimen, dan alat bantu seperti penggaris, kaliper, spidol, alat tulis, kertas data, dan laptop untuk pemantauan data.

2. Menentukan Tegangan Tarik dan Tegangan Geser Awal

Cari data tegangan tarik (*tensile strength*) dari material SS 304. Untuk diameter spesimen 3 mm, tegangan tariknya berkisar antara 515–625 MPa. Hitung estimasi tegangan geser menggunakan rumus:

$$\tau = 0,8 \times \text{Tensile Strength}$$

Sumber : (McCauley, 2004)

Nilai ini digunakan sebagai acuan awal kalibrasi dan perhitungan.

3. Persiapan Spesimen

Sesuai standar ASTM B565, panjang spesimen minimal harus 2 kali diameter (≥ 6 mm). Beri tanda pada setiap 10 mm (atau ukuran yang diinginkan) menggunakan alat ukur dan spidol untuk memudahkan peletakan di dudukan uji.

4. Pemasangan Spesimen

Letakkan spesimen pada dudukan mekanisme pemotong sesuai dengan tanda yang telah dibuat. Pastikan posisinya presisi dan kunci spesimen agar tidak bergeser saat proses pemotongan.

5. Pemasangan Sistem Elektronik

Sambungkan kabel *load cell* ke modul HX711 dengan benar, lalu sambungkan ke Arduino sesuai diagram pin. Pastikan koneksi kuat dan tidak terbalik.

6. Pengunggahan Program Arduino

Masukkan kode program ke dalam Arduino IDE dan unggah ke *board*. Program ini akan membaca *output* tegangan dari *load cell* dan mengonversinya menjadi nilai gaya (Kg).

7. Kalibrasi Sistem

Lakukan proses kalibrasi untuk menentukan faktor kalibrasi (*calibration factor*) yang tepat. Kalibrasi dilakukan minimal 3 kali untuk melihat kestabilan pembacaan dan menghindari kesalahan akibat fluktuasi tegangan listrik. Nilai kalibrasi harus berada dalam rentang hasil estimasi tegangan geser.

8. Pelaksanaan Pengujian

Setelah kalibrasi sesuai, lakukan pemompaan secara perlahan pada sistem hidrolik hingga pisau mulai menggeser spesimen. Gerakan harus konstan dan tidak tergesa-gesa agar hasil pembacaan gaya akurat.

9. Pencatatan Data

Amati angka yang muncul pada layar monitor dari Arduino. Catat nilai gaya maksimum yang terukur dari sensor *load cell* dengan integrasi ke *Microsoft Excel*.

10. Pengulangan Pengujian

Ulangi seluruh prosedur dari awal hingga 10 kali untuk mendapatkan data yang konsisten dan memastikan validitas hasil.

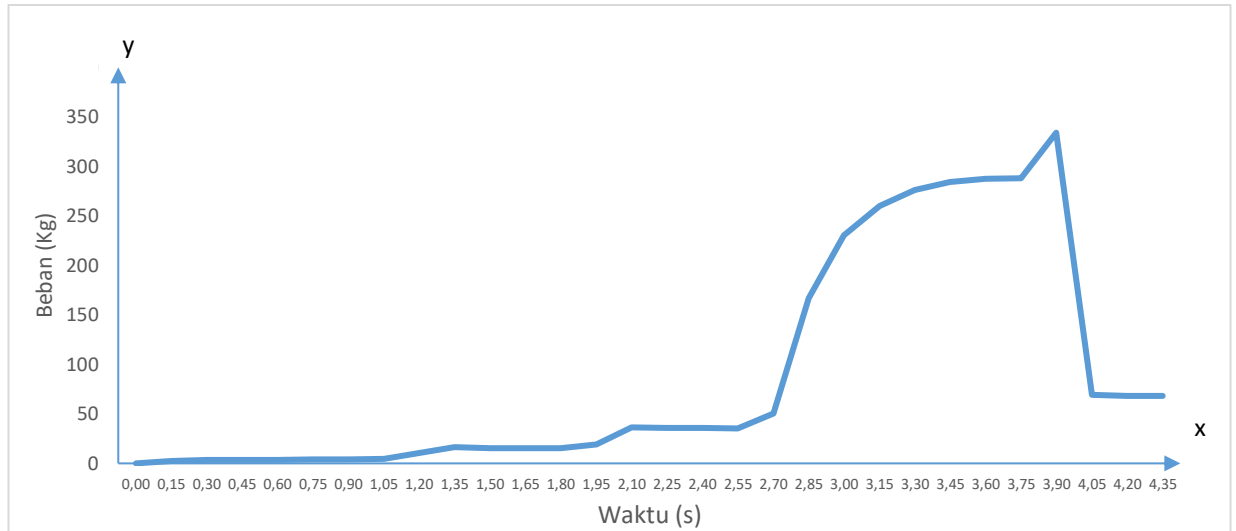
4.2 Pengambilan Data Pengujian *Stainless Steel 304*

Pada pengujian geser material *Stainless Steel 304* dilakukan pencarian nilai tekanan selama 10 kali percobaan pada bahan uji berdiameter 3 mm dan panjang 10 mm. Pengulangan ini bertujuan untuk memastikan konsistensi data gaya atau tekanan yang diperoleh selama proses penggeseran. Sensor *load cell*, yang terhubung dengan Arduino, akan merekam nilai gaya yang diterima oleh spesimen hingga terjadi kegagalan geser pada setiap percobaan. Data yang dihasilkan telah dikalibrasi melalui pemrograman (*coding*), sehingga nilai gaya yang ditampilkan merupakan gaya murni dari silinder pemotong, dengan memperhitungkan adanya momen akibat bentuk geometris pemotong.

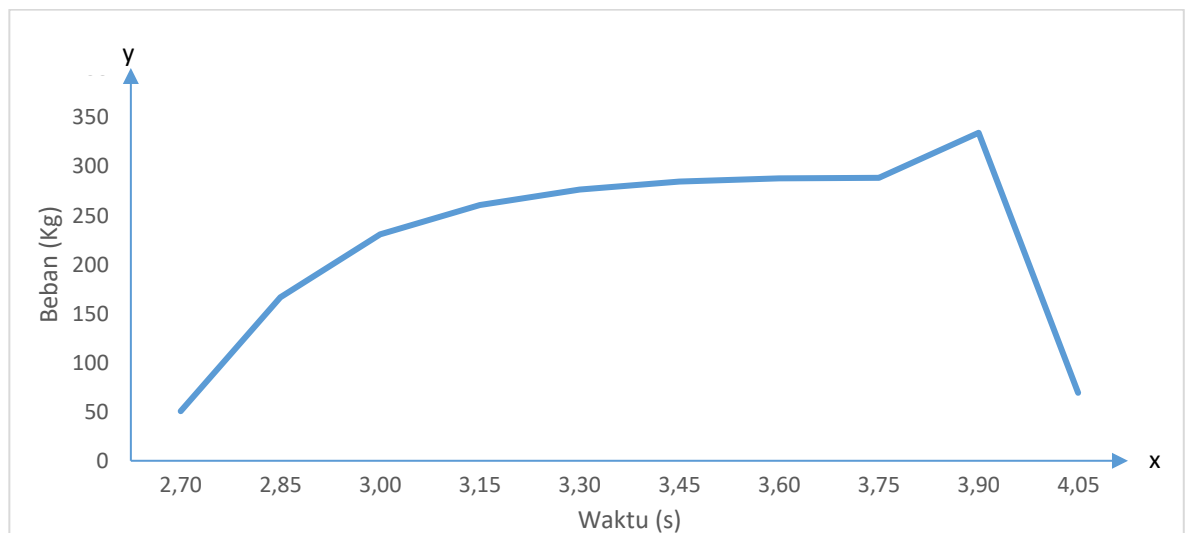
Setelah melakukan pengujian geser didapatkan hasil nilai pergeseran dari setiap percobaan yang direkam melalui sensor *load cell*. Berikut uraian hasil pengujian geser material *Stainless Steel 304* :

4.2.1 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-1

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.2 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-1. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.3 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 2,70 – 4,05 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 344 Kg pada waktu 3,90 detik.



Gambar 4. 2 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-1



Gambar 4. 3 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-1

Merujuk pada Gambar 4.3, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 344 \text{ Kg}$$

$$F = 3374,64 \text{ N}$$

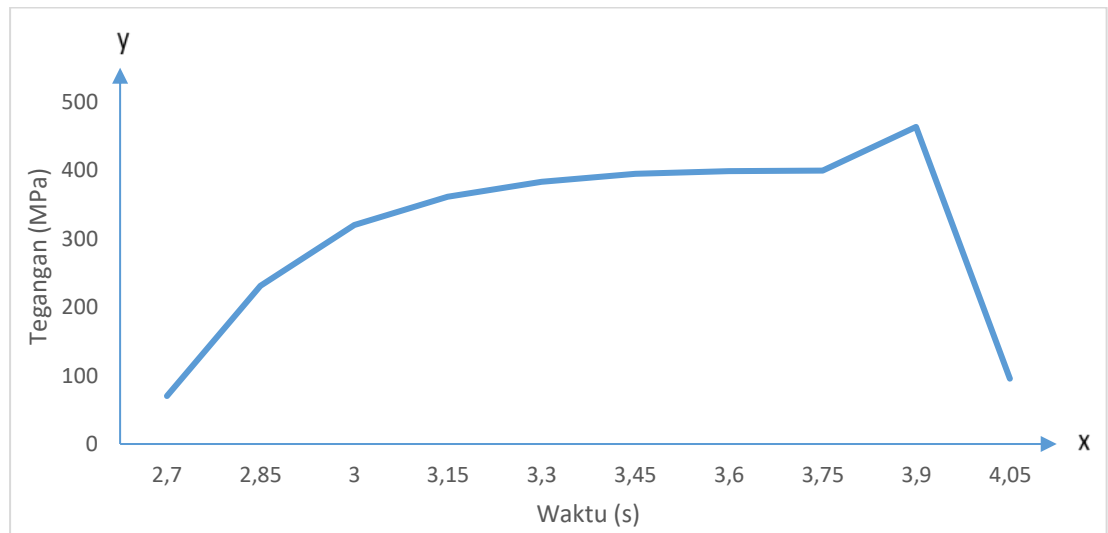
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3374,64 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 477,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 477,31 \text{ MPa}$$

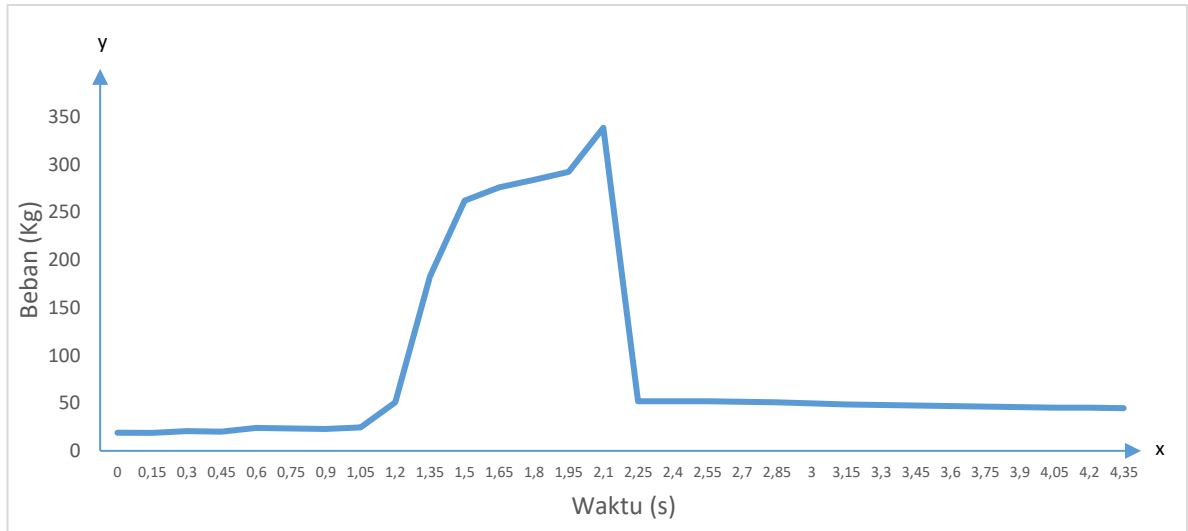
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-1 sebesar 477,31 MPa.



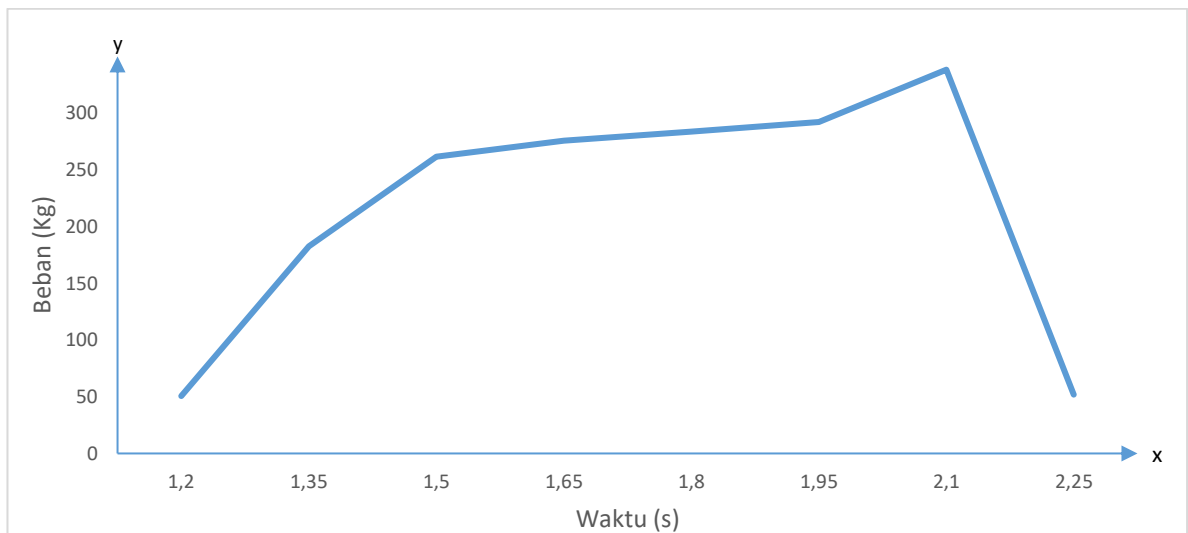
Gambar 4. 4 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-1

4.2.2 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-2

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.5 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-2. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.6 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,20 – 2,25 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 338,28 Kg pada waktu 2,10 detik.



Gambar 4. 5 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-2



Gambar 4. 6 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-2

Merujuk pada gambar 4.6, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 338,28 \text{ kg}$$

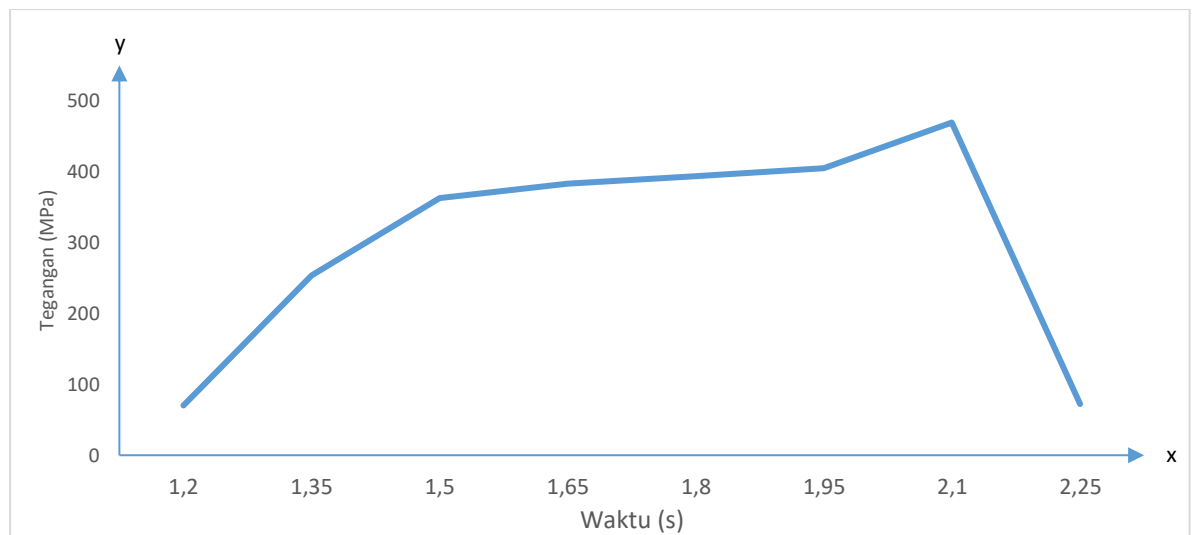
$$F = 3.318,52 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.318,52 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 469,38 \text{ N/mm}^2$$

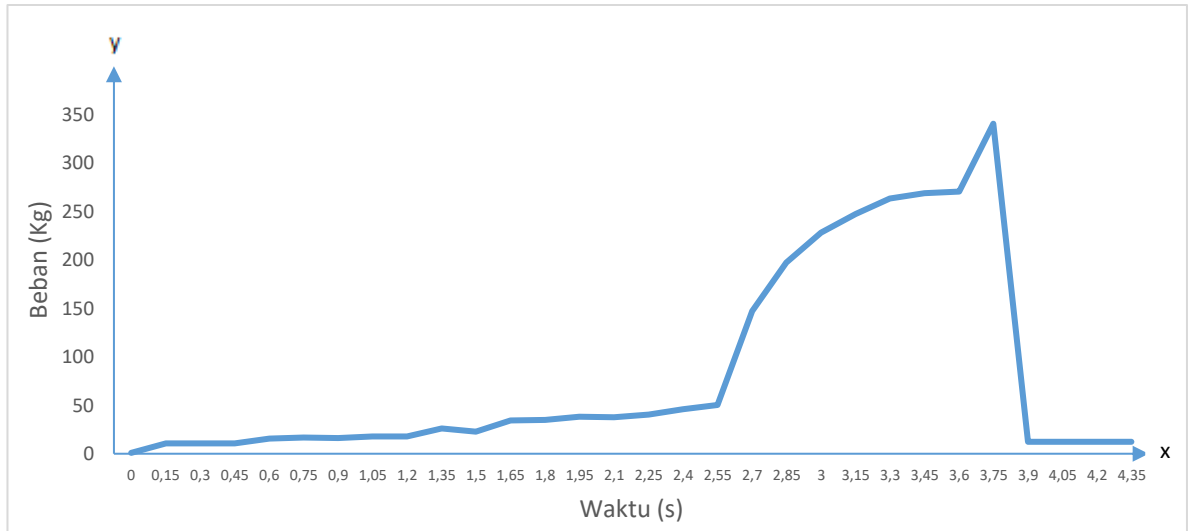
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-2 sebesar 469,38 Mpa.



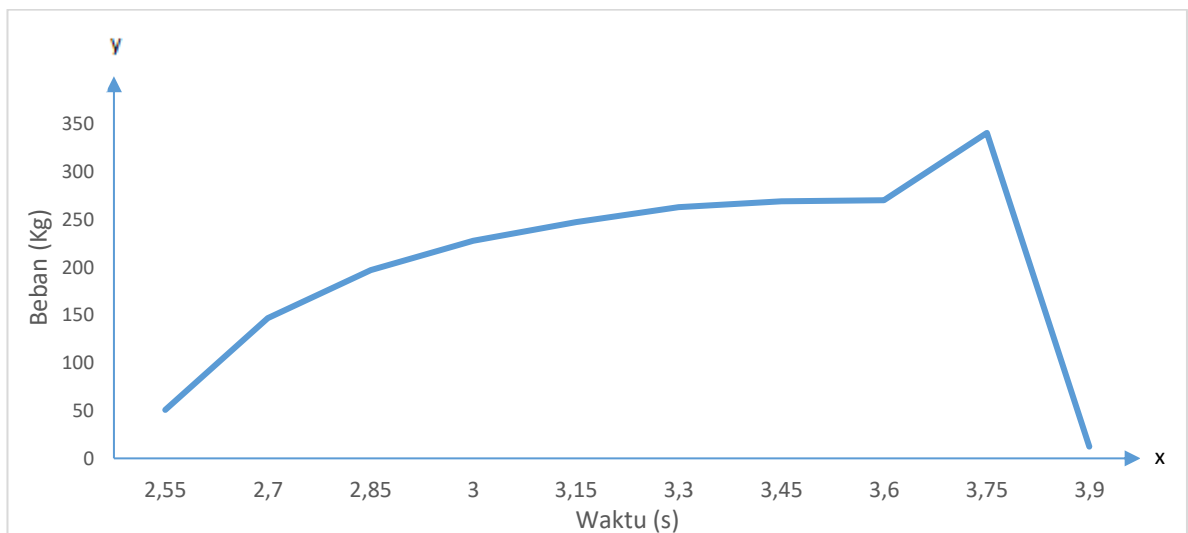
Gambar 4. 7 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-2

4.2.3 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-3

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.8 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-3. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.9 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 2,55 – 3,90 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 340,69 Kg pada waktu 3,75 detik.



Gambar 4. 8 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-3



Gambar 4. 9 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-3

Merujuk pada gambar 4.9, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 340,69 \text{ kg}$$

$$F = 3.342,16 \text{ N}$$

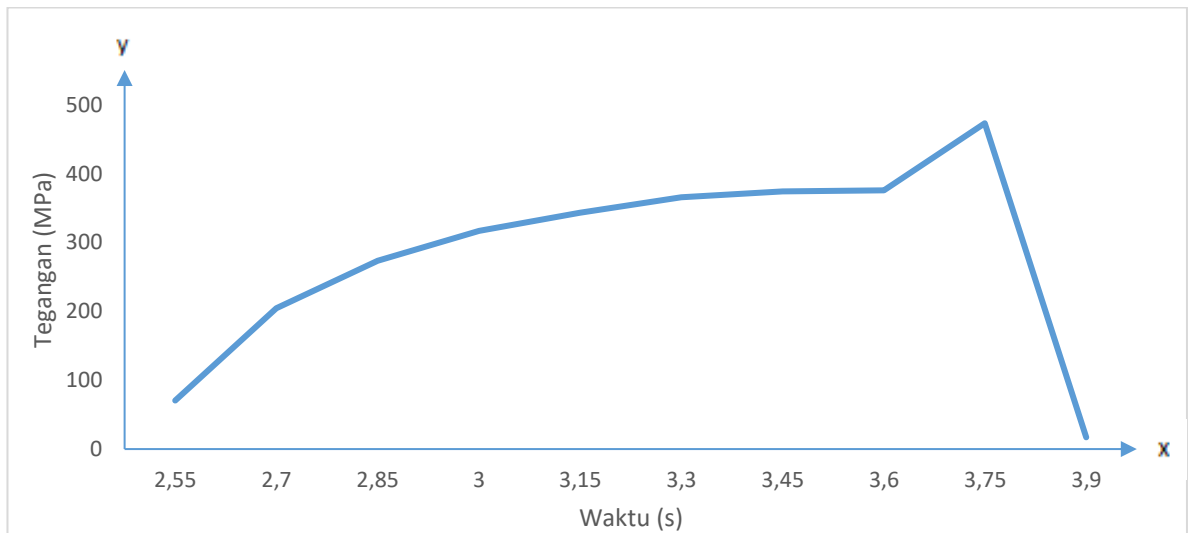
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.342,16 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 472,72 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 472,72 \text{ Mpa}$$

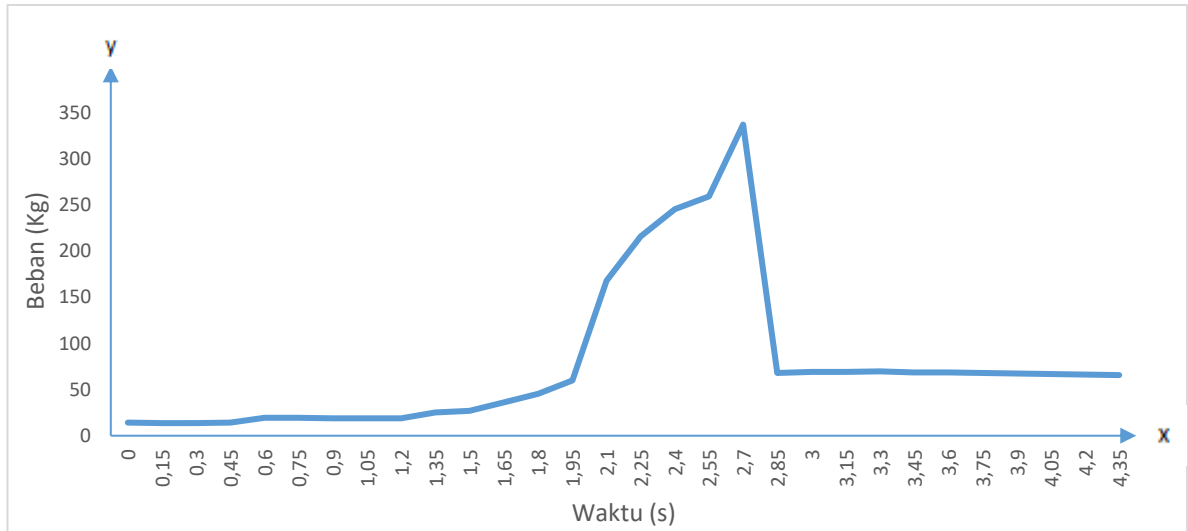
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-3 sebesar 472,72 Mpa.



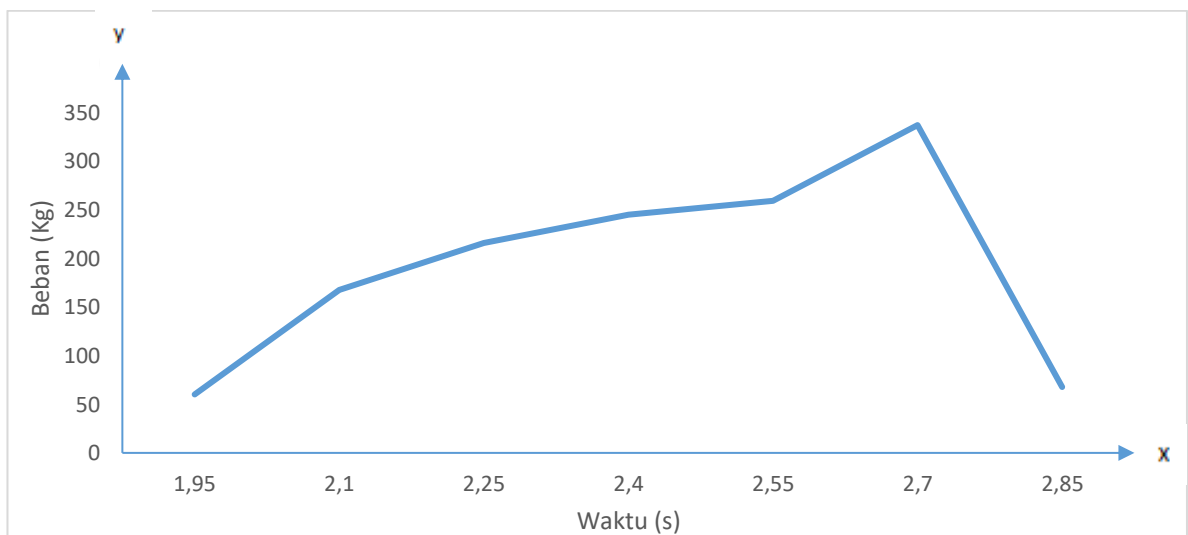
Gambar 4. 10 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-3

4.2.4 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-4

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.11 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-4. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.12 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,95 – 2,85 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 336,95 Kg pada waktu 2,70 detik.



Gambar 4. 11 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-4



Gambar 4. 12 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-4

Merujuk pada gambar 4.12, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 336,95 \text{ kg}$$

$$F = 3305,47 \text{ N}$$

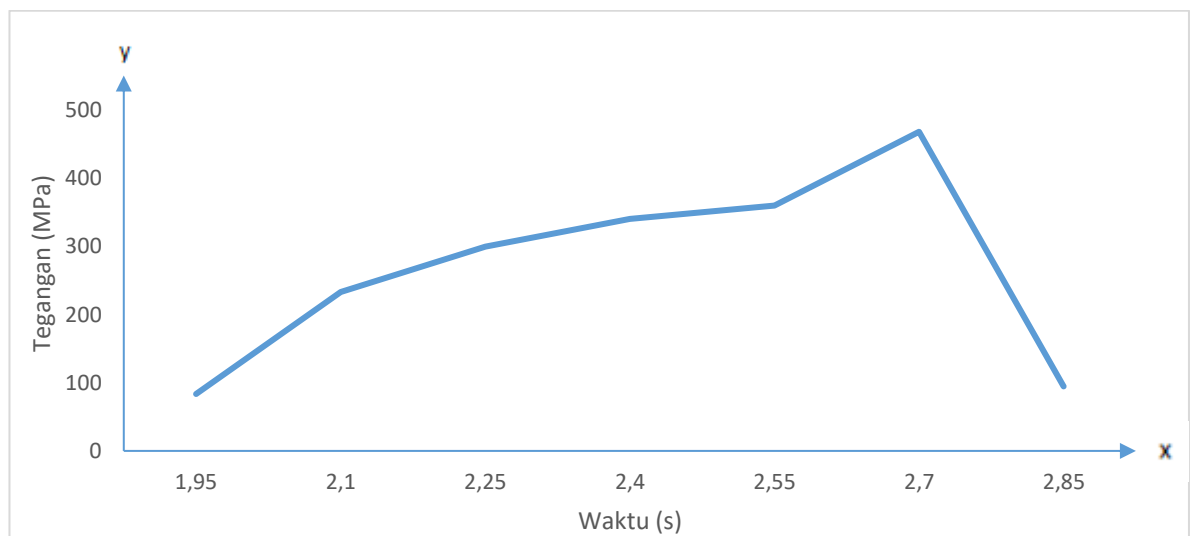
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.305,47 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 467,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 467,53 \text{ Mpa}$$

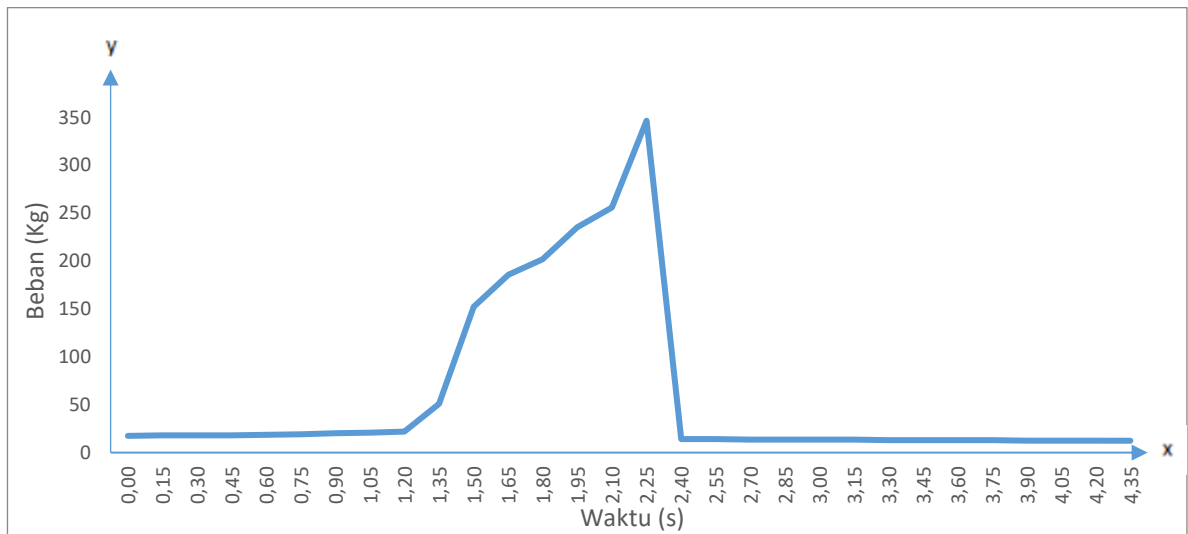
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-4 sebesar 467,53 Mpa.



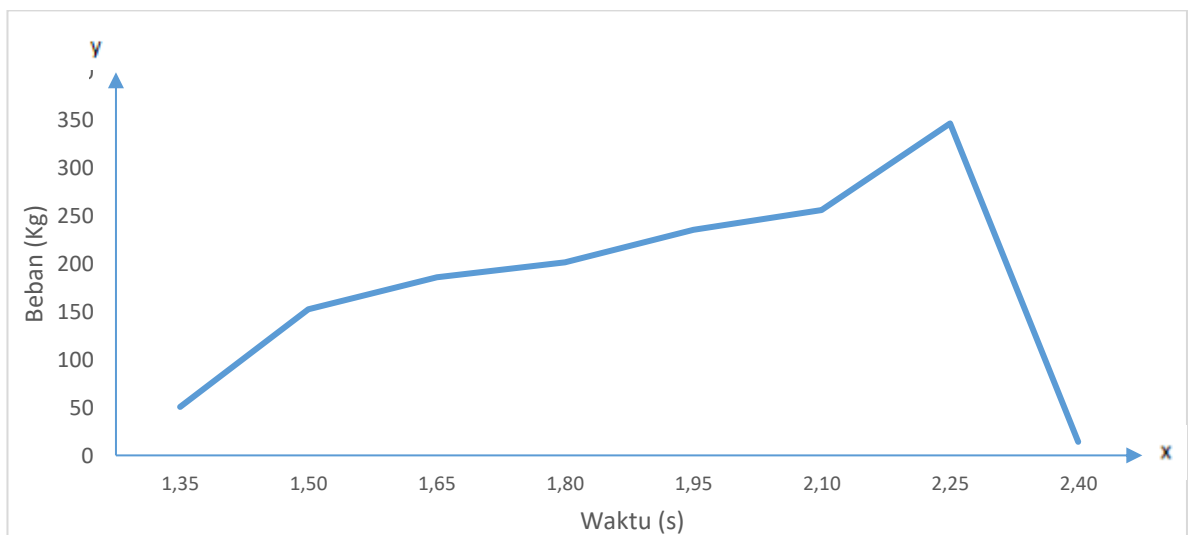
Gambar 4. 13 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-4

4.2.5 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-5

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.14 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-5. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.15 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,20 – 2,40 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 346,6 Kg pada waktu 2,25 detik.



Gambar 4. 14 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-5



Gambar 4. 15 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-5

Merujuk pada gambar 4.15, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 346,6 \text{ kg}$$

$$F = 3.400,14 \text{ N}$$

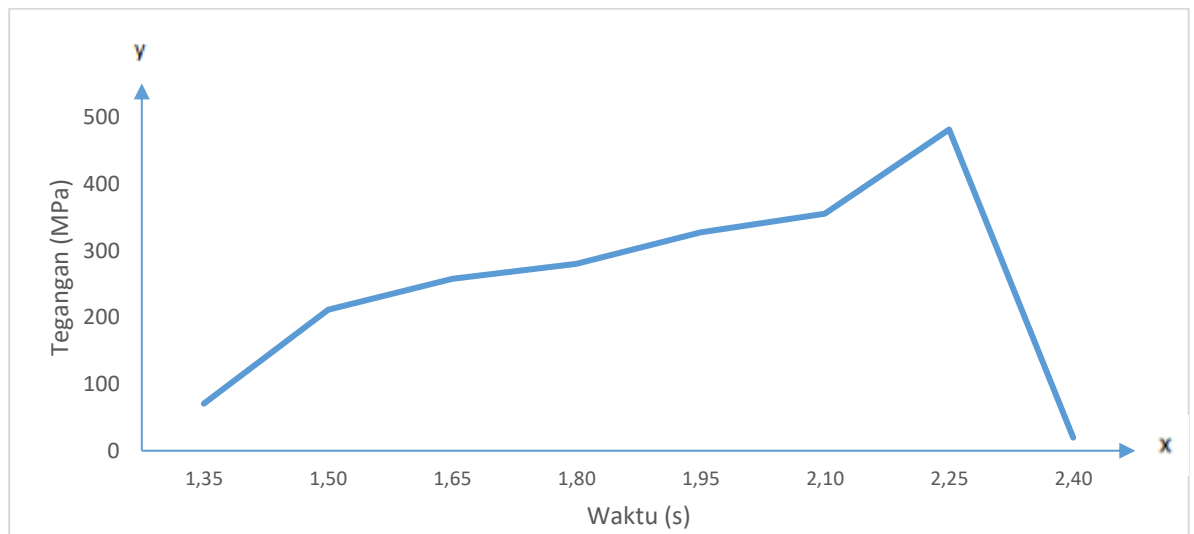
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.400,14 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 480,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 480,92 \text{ Mpa}$$

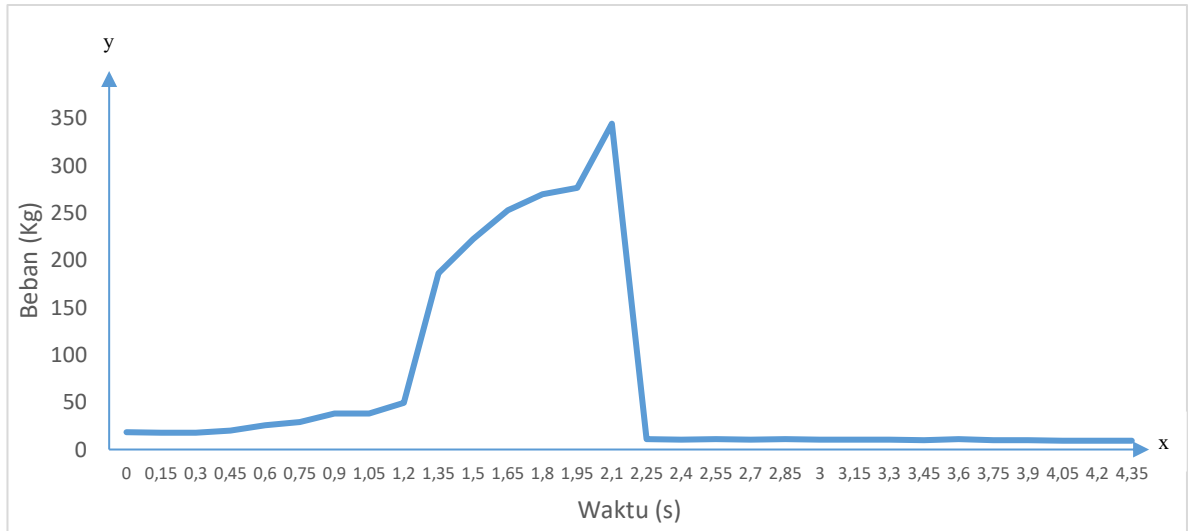
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-5 sebesar 480,92 Mpa.



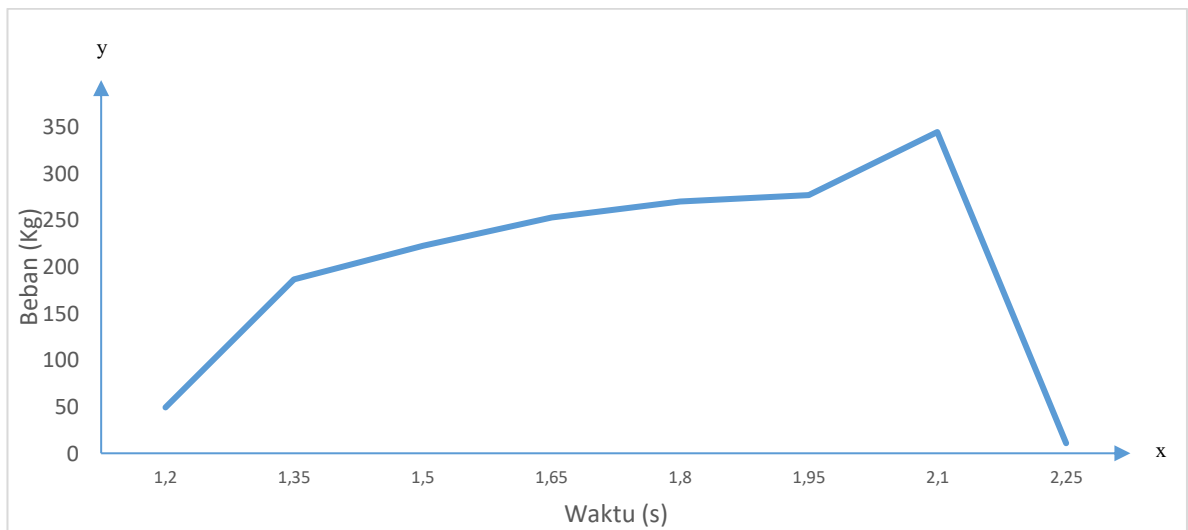
Gambar 4. 16 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-5

4.2.6 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-6

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.17 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-6. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.18 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,20 – 2,25 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 344,33 Kg pada waktu 2,10 detik.



Gambar 4. 17 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-6



Gambar 4. 18 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-6

Merujuk pada gambar 4.18, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 344,33 \text{ kg}$$

$$F = 3377,87 \text{ N}$$

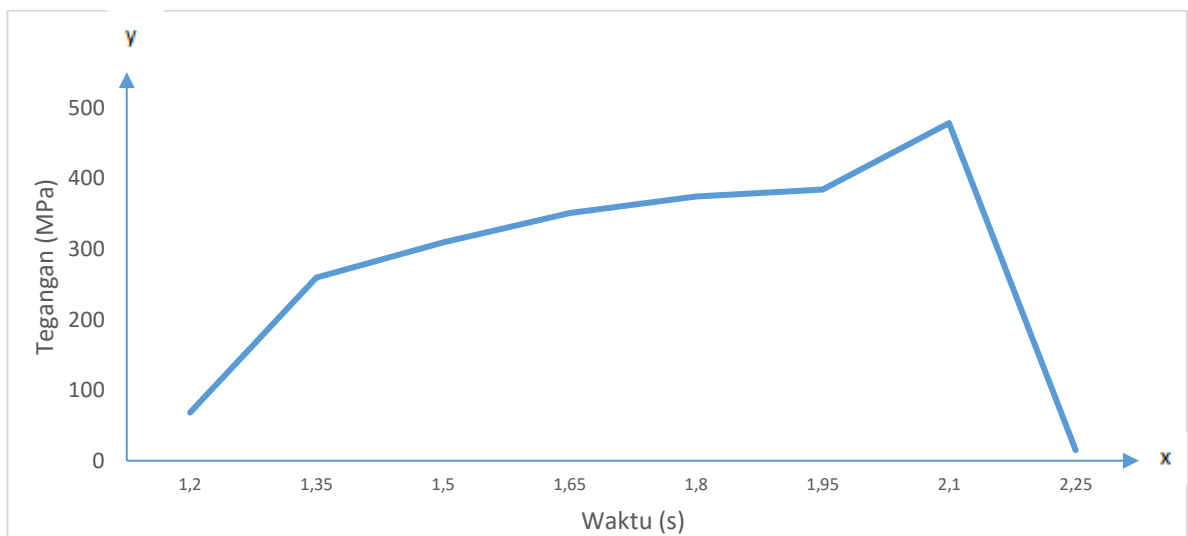
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3377,87 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 477,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 477,77 \text{ Mpa}$$

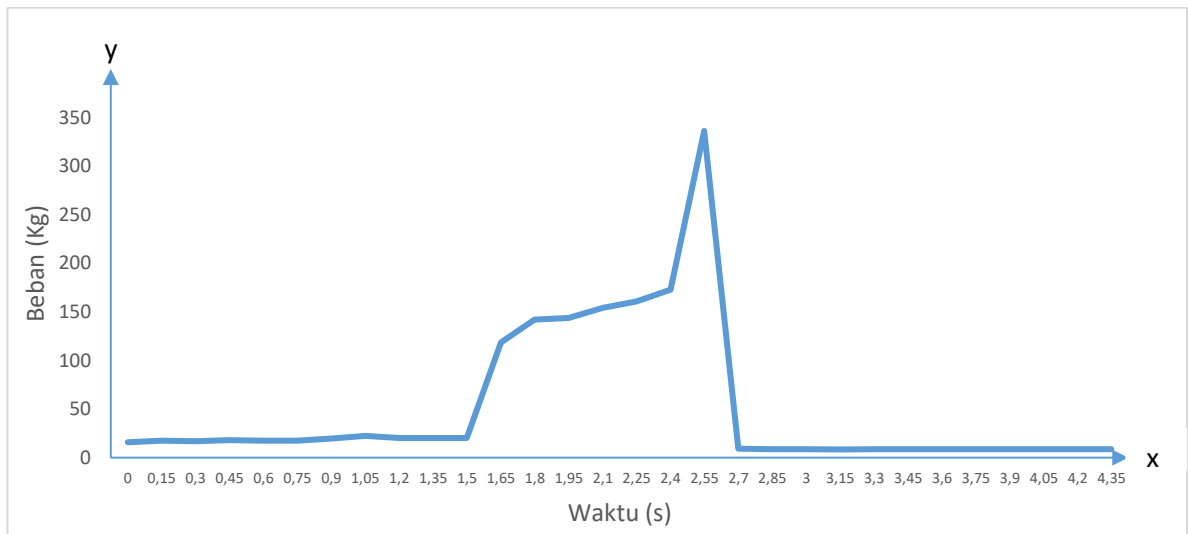
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-6 sebesar 477,77 Mpa.



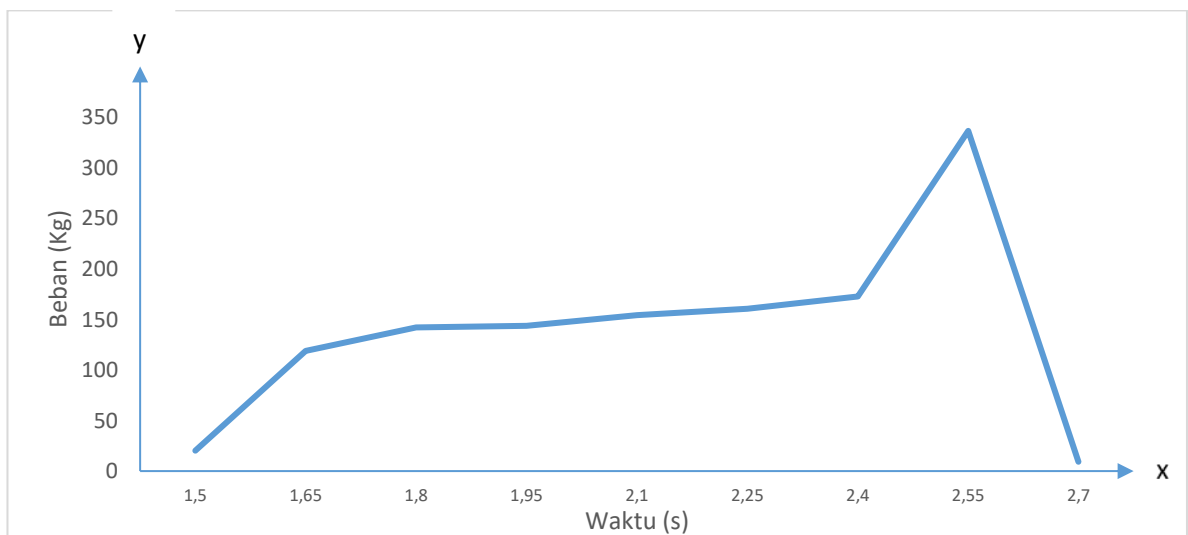
Gambar 4. 19 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-6

4.2.7 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-7

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.20 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-7. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.21 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,50 – 2,70 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 336,31 Kg pada waktu 2,25 detik.



Gambar 4. 20 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-7



Gambar 4. 21 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-7

Merujuk pada gambar 4.21, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 336,31 \text{ kg}$$

$$F = 3299,2 \text{ N}$$

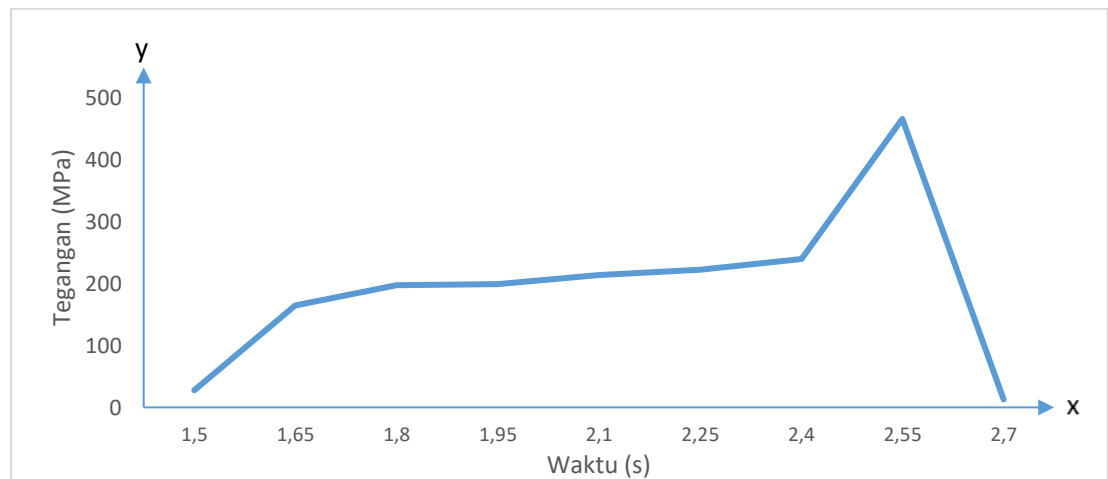
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.299,2 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 466,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 466,65 \text{ Mpa}$$

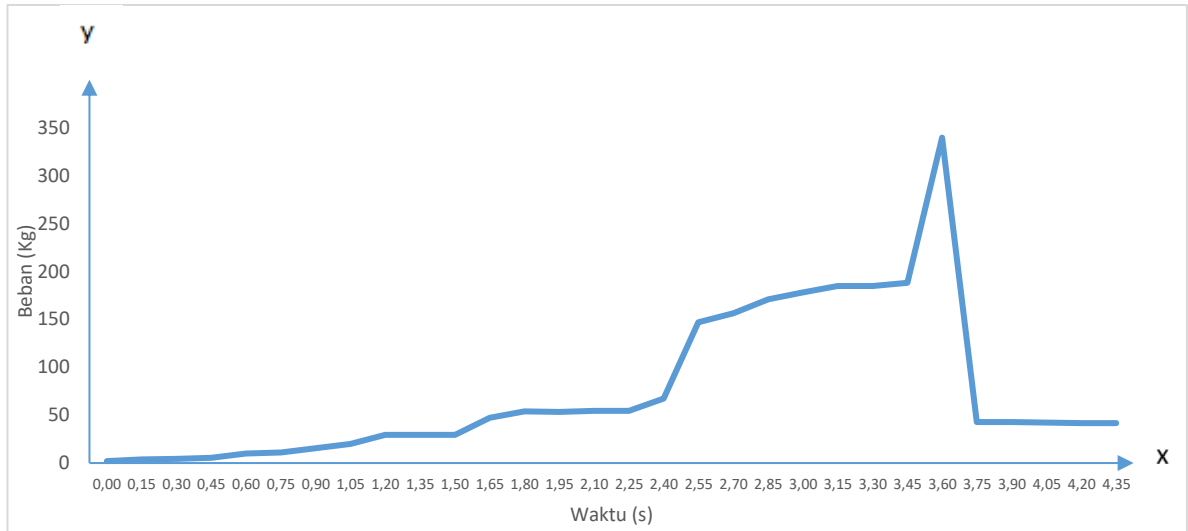
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-7 sebesar 466,65 Mpa.



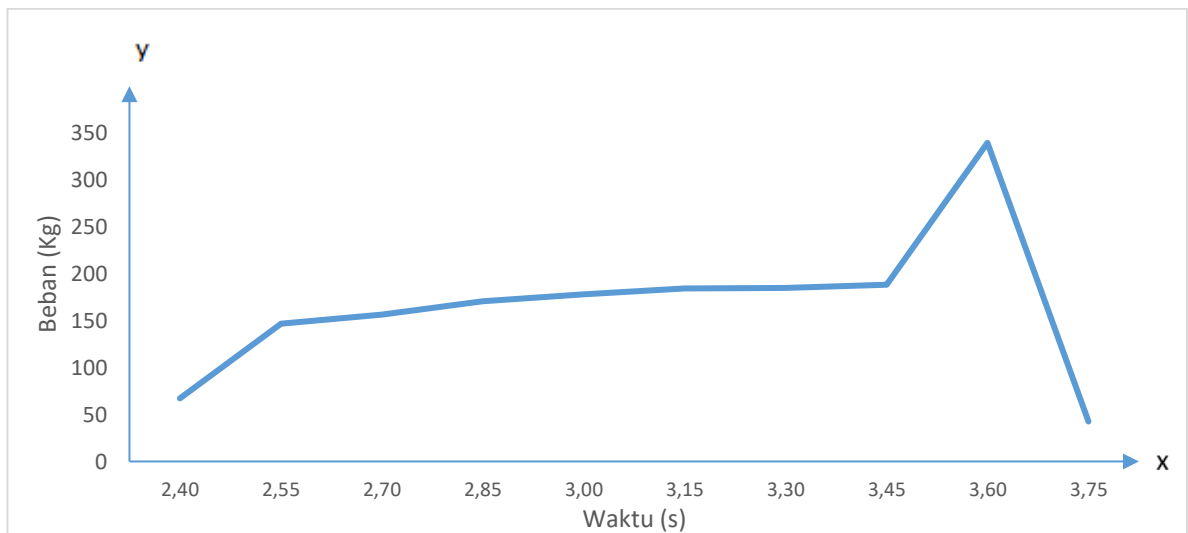
Gambar 4. 22 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-7

4.2.8 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-8

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.23 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-8. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.24 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 2,40 – 3,75 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 339,58 Kg pada waktu 3,60 detik.



Gambar 4. 23 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-8



Gambar 4. 24 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-8

Merujuk pada gambar 4.24, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 339,58 \text{ kg}$$

$$F = 3.331,27 \text{ N}$$

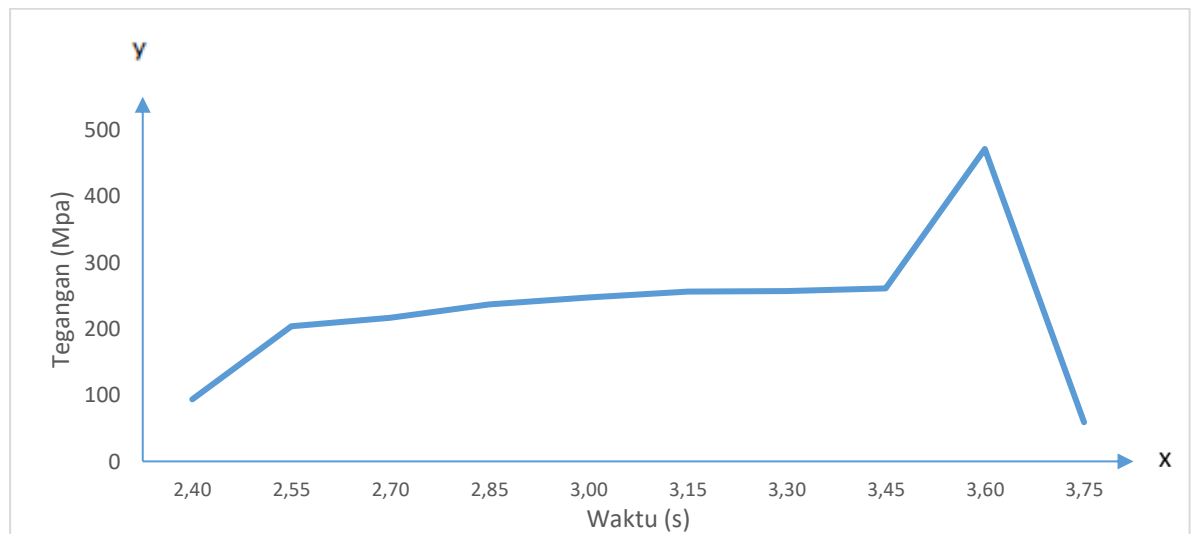
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.331,27 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 471,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 471,18 \text{ Mpa}$$

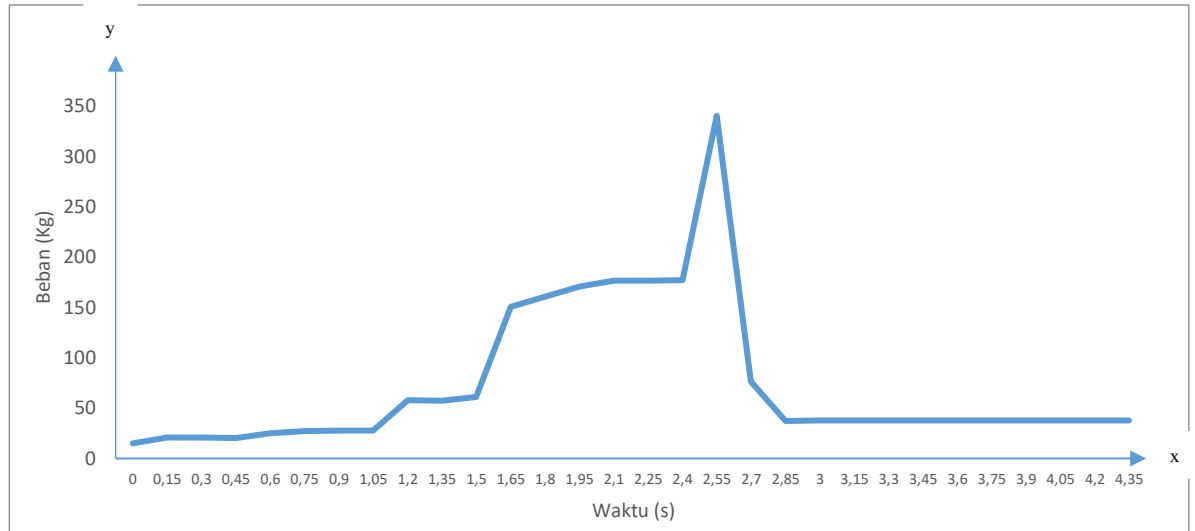
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-8 sebesar 471,18 Mpa.



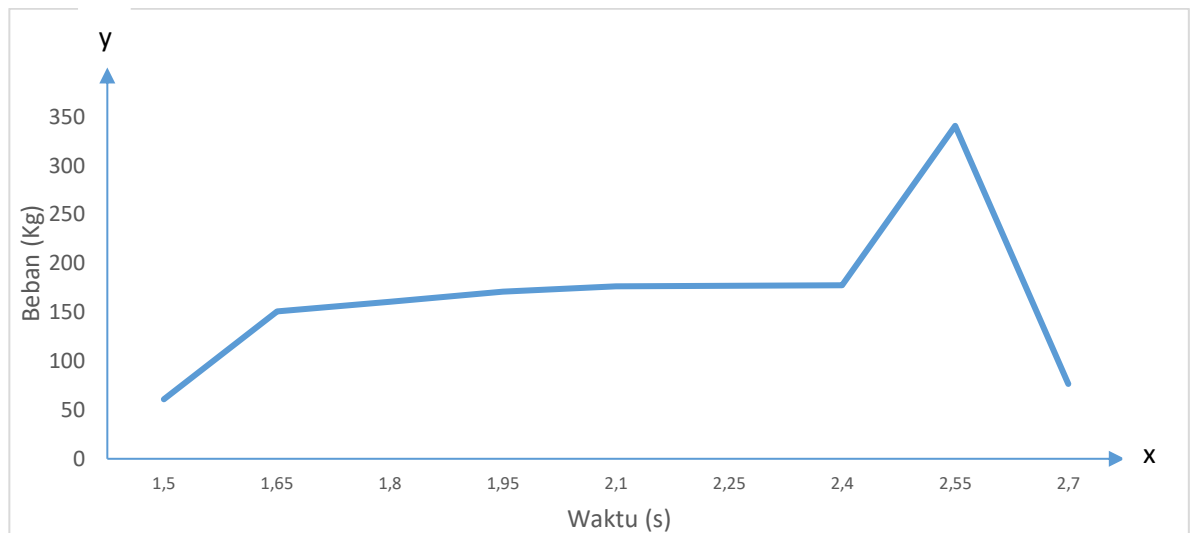
Gambar 4. 25 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-8

4.2.9 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-9

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.26 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-9. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.27 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,50 – 2,70 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 340,36 Kg pada waktu 2,55 detik.



Gambar 4. 26 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-9



Gambar 4. 27 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-9

Meruju pada gambar 4.27, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 340,36 \text{ kg}$$

$$F = 3.338,93 \text{ N}$$

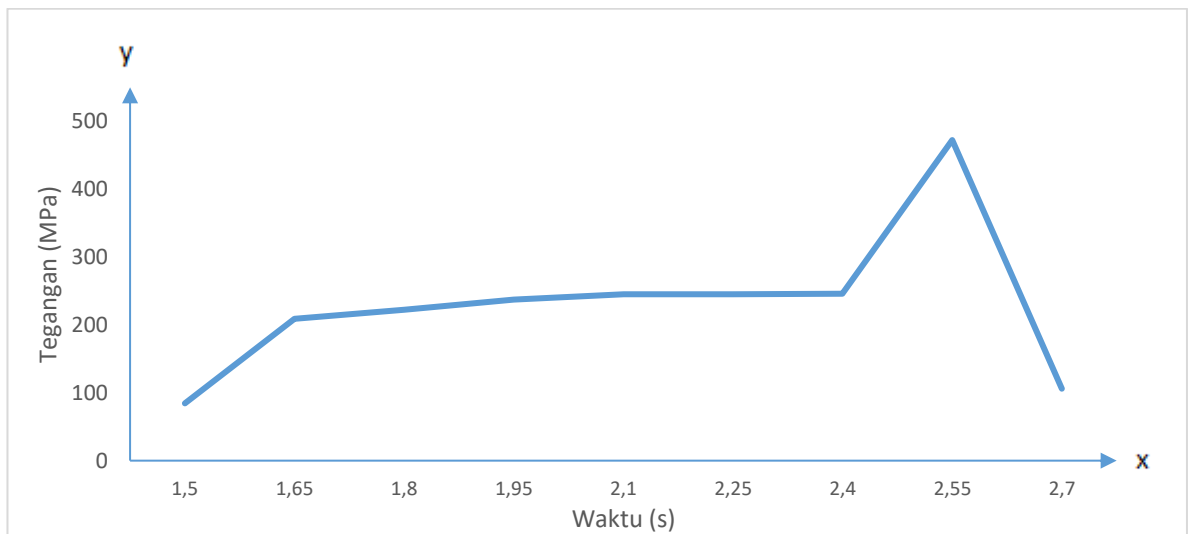
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3.338,93 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 472,27 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 472,27 \text{ Mpa}$$

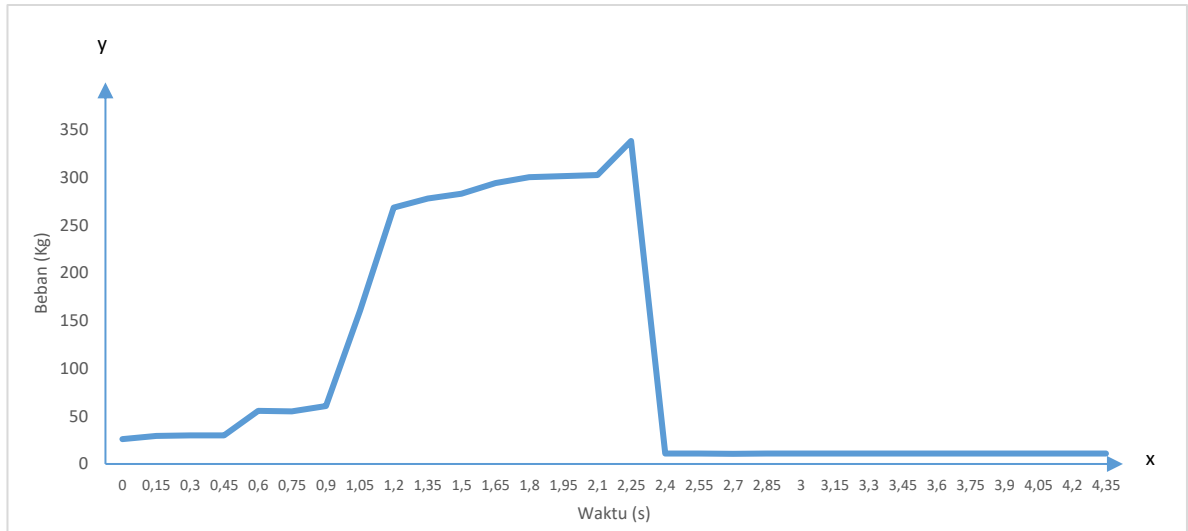
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-9 sebesar 472,27 Mpa.



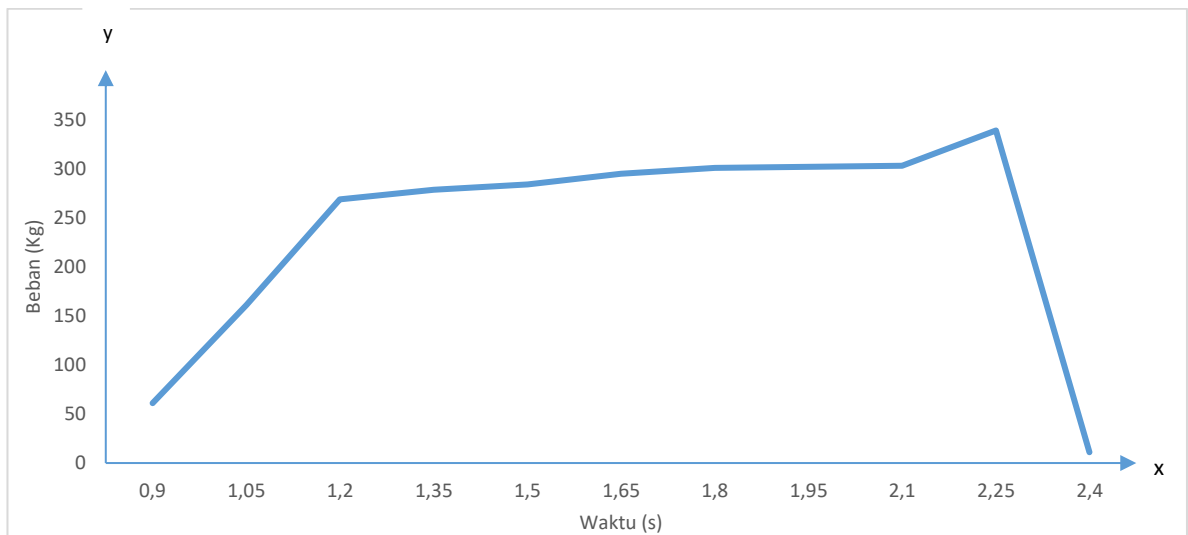
Gambar 4. 28 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-9

4.2.10 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan Ke-10

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser berlangsung. Merujuk Gambar 4.29 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-10. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.30 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,90 – 2,40 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 338,59 Kg pada waktu 2,25 detik.



Gambar 4. 29 Distribusi beban selama waktu pengujian geser ke-10



Gambar 4. 30 Distribusi aktual beban selama waktu pengujian geser ke-10

Merujuk pada gambar 4.30, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 338,59 \text{ kg}$$

$$F = 3321,56 \text{ N}$$

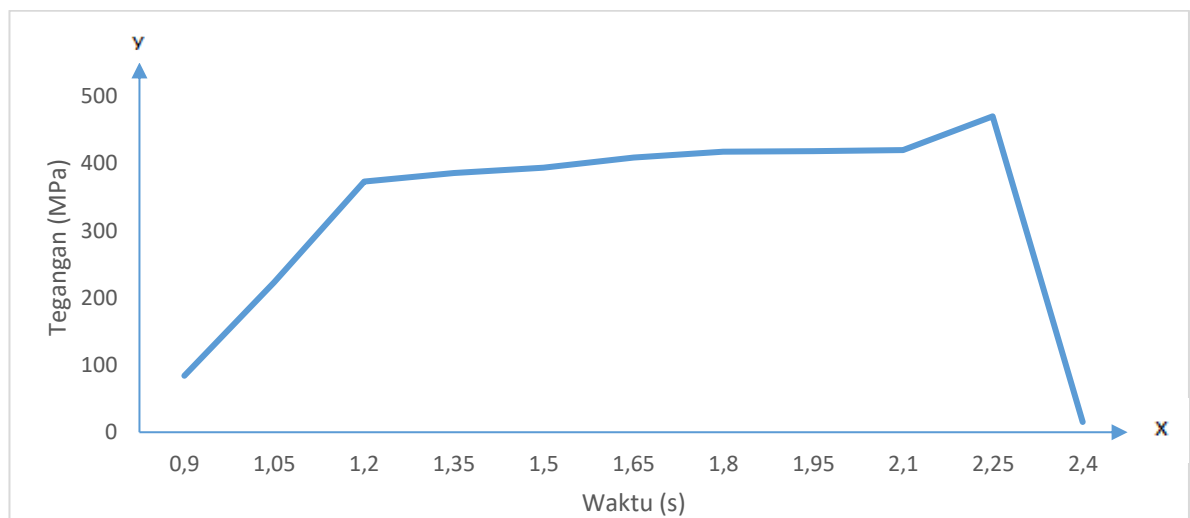
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{3321,56 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 469,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 469,81 \text{ Mpa}$$

Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material *Stainless Steel 304* percobaan ke-10 sebesar 469,81 Mpa.



Gambar 4. 31 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-10

Setelah dilakukannya pengujian geser material *Stainless Steel 304* dapat kita lihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.3. Dimana bahan uji memiliki rata-rata beban 340,569 Kg dan tegangan geser 422,231 MPa pada diameter 3 mm. Dengan standar deviasi tegangan geser $\pm 4,71$ MPa.

Tabel 4. 1 Nilai gaya *stainless steel 304* oleh *load cell*

Percobaan Ke-	Beban (Kg)
1	344
2	338,28
3	340,69
4	336,95
5	346,6
6	344,33
7	336,31
8	339,58
9	340,36
10	338,59
Rata-Rata	340,569

Tabel 4. 2 Nilai tegangan geser *stainless steel* 304

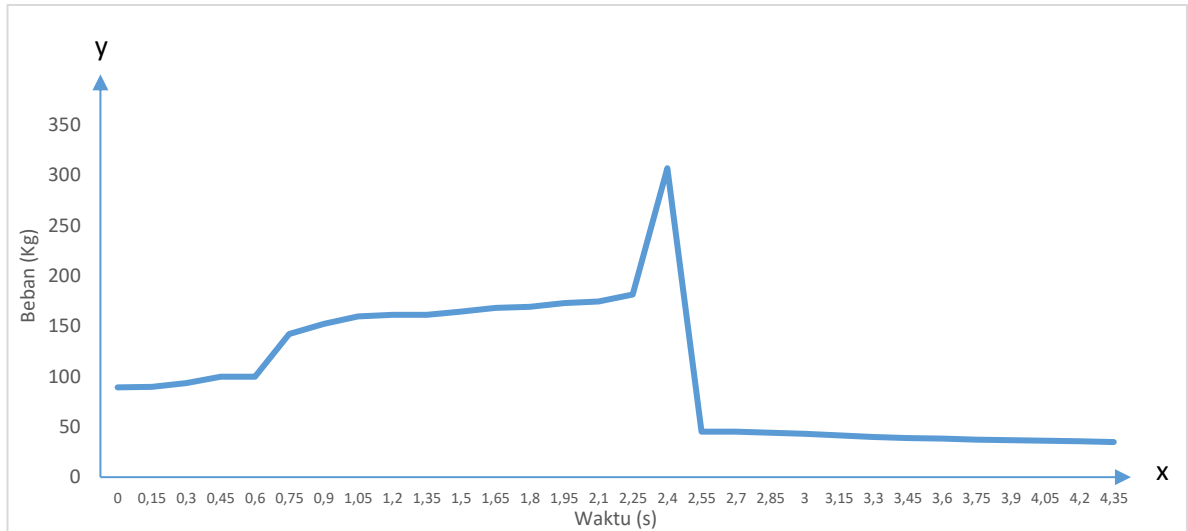
Percobaan Ke-	Tegangan Geser (MPa)
1	477,31
2	469,38
3	472,72
4	467,53
5	480,92
6	477,77
7	466,65
8	471,18
9	472,267
10	469,81
Rata-Rata	472,5537

4.3 Pengaruh Perlakuan Panas Pada Material Uji

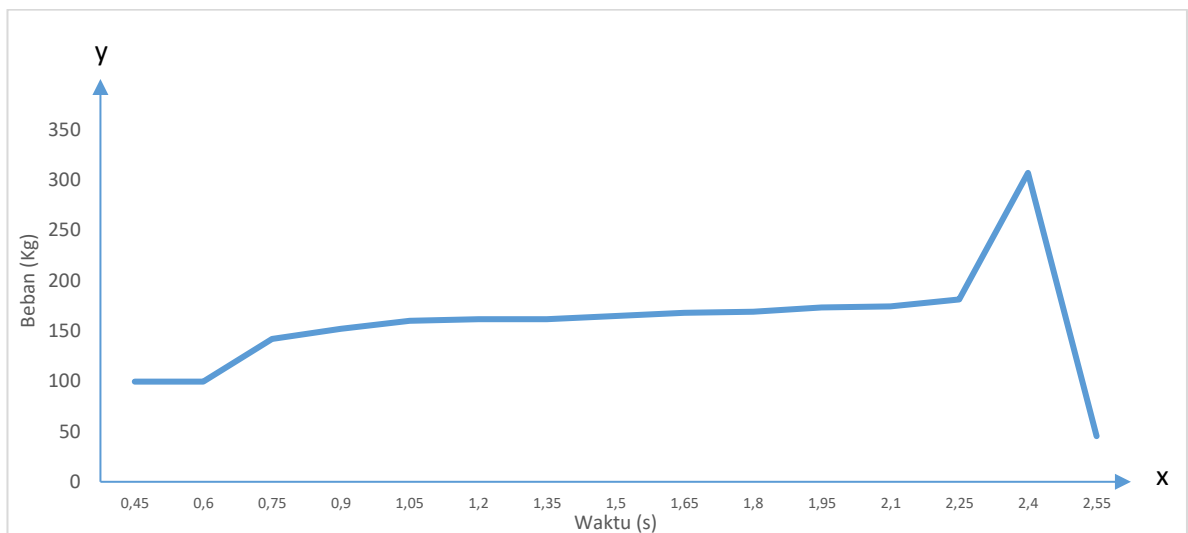
Perlakuan panas merupakan salah satu metode yang dapat memengaruhi sifat mekanik suatu material, termasuk kekuatan dan ketahanan terhadap beban. Material uji diberikan perlakuan panas berupa proses hardening, yaitu dengan metode *annealing*, memanaskan material hingga suhu 400–450°. Tujuannya adalah untuk mengetahui bagaimana perlakuan panas tersebut memengaruhi kemampuan material dalam menahan gaya geser.

4.3.1 Hasil Pengujian Pada Bahan Uji Percobaan ke-1

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.29 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-1. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.30 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,60 – 2,55 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 306,79 Kg pada waktu 2,4 detik.



Gambar 4. 32 Distribusi beban uji geser ke-1 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 33 Distribusi aktual beban uji geser ke-1 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.29, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 306,79 \text{ kg}$$

$$F = 3009,61 \text{ N}$$

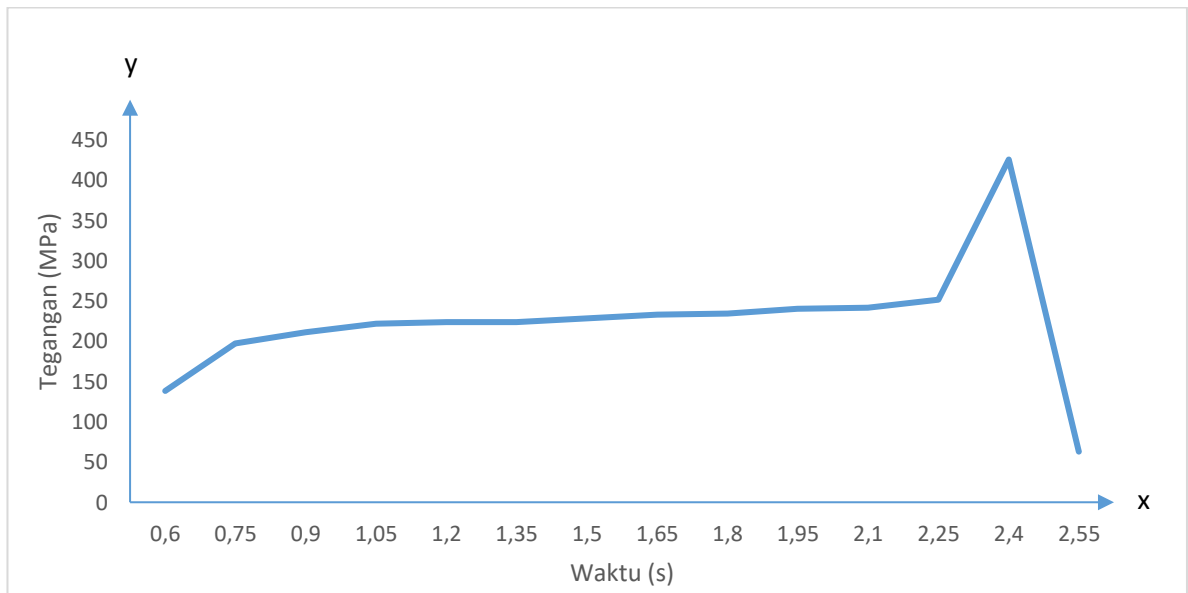
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{23009,61 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 425,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 425,68 \text{ MPa}$$

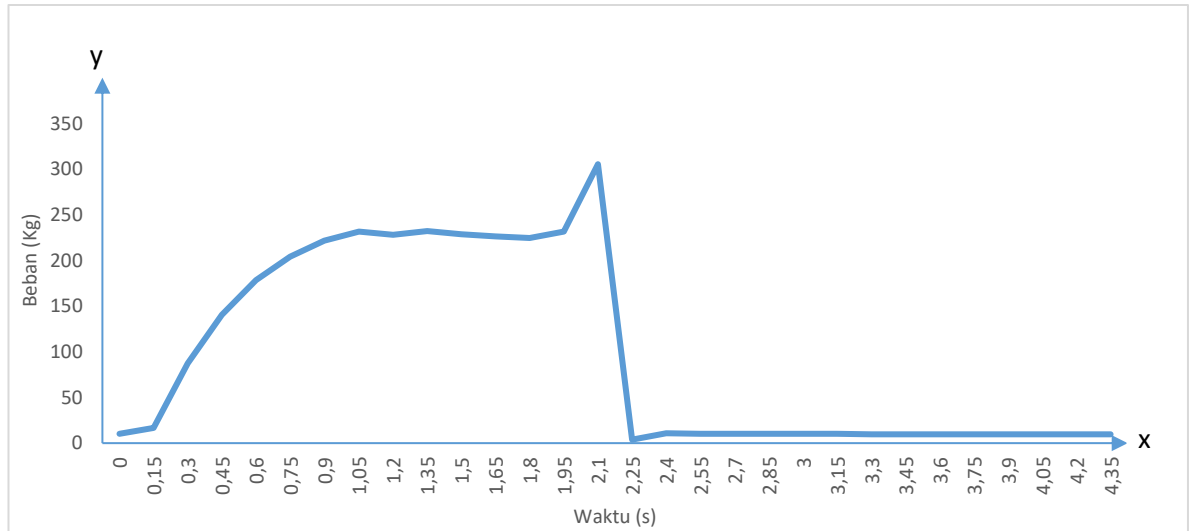
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pengujian percobaan ke-1 beban yang tercatat pada *load cell* sebesar 306,79 kg dan tegangan geser sebesar 425,68 MPa.



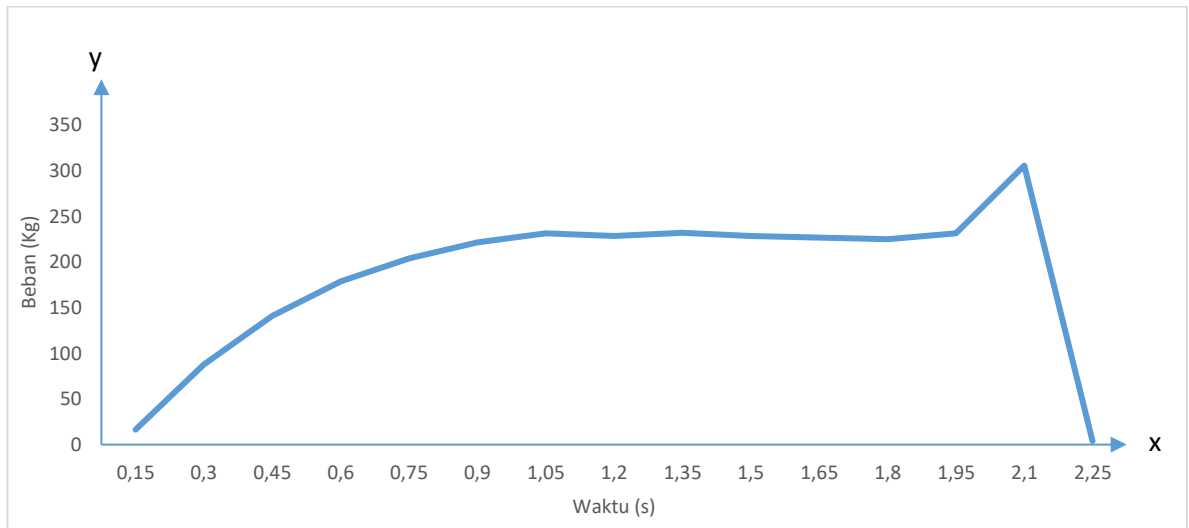
Gambar 4. 34 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-1 setelah perlakuan panas

4.3.2 Hasil Pengujian Pada Bahan Uji Percobaan ke-2

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.31 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-2. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.32 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,15 - 2,25 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 305,3 Kg pada waktu 2,10 detik.



Gambar 4. 35 Distribusi beban uji geser ke-2 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 36 Distribusi aktual beban uji geser ke-2 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.36, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 305,3 \text{ kg}$$

$$F = 2.995 \text{ N}$$

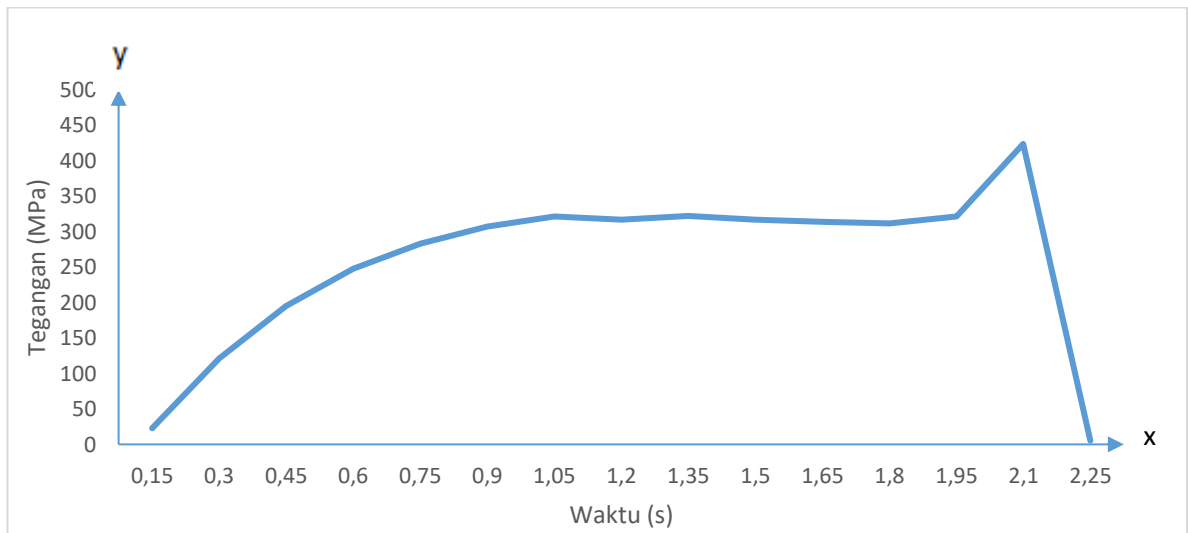
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.995 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 423,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 423,6 \text{ MPa}$$

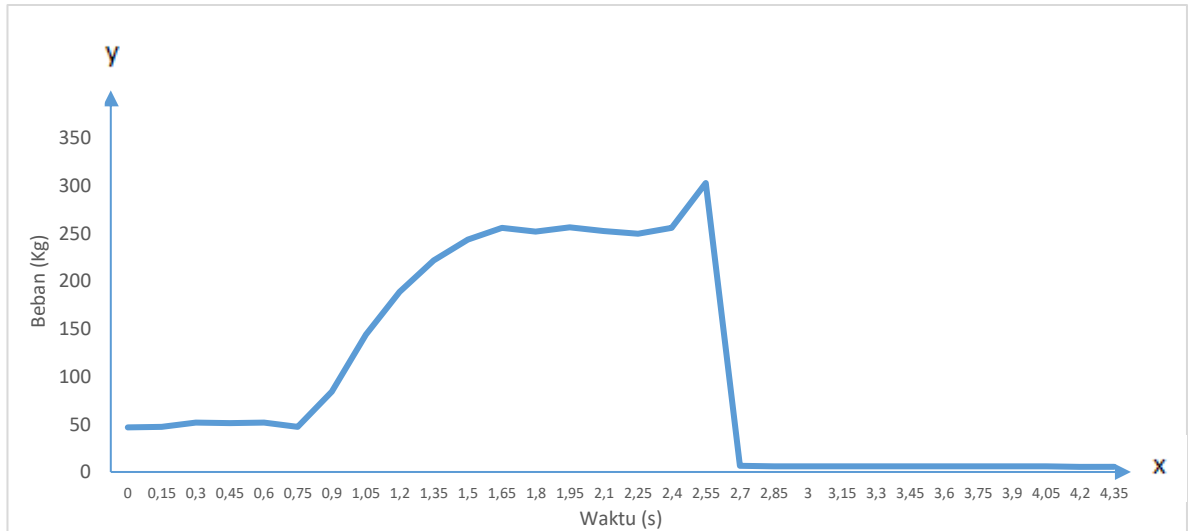
Jadi hasil tegangan geser pengujian percobaan ke-2 beban yang tercatat pada *load cell* sebesar 305,3 kg dan tegangan geser sebesar 423,6 Mpa.



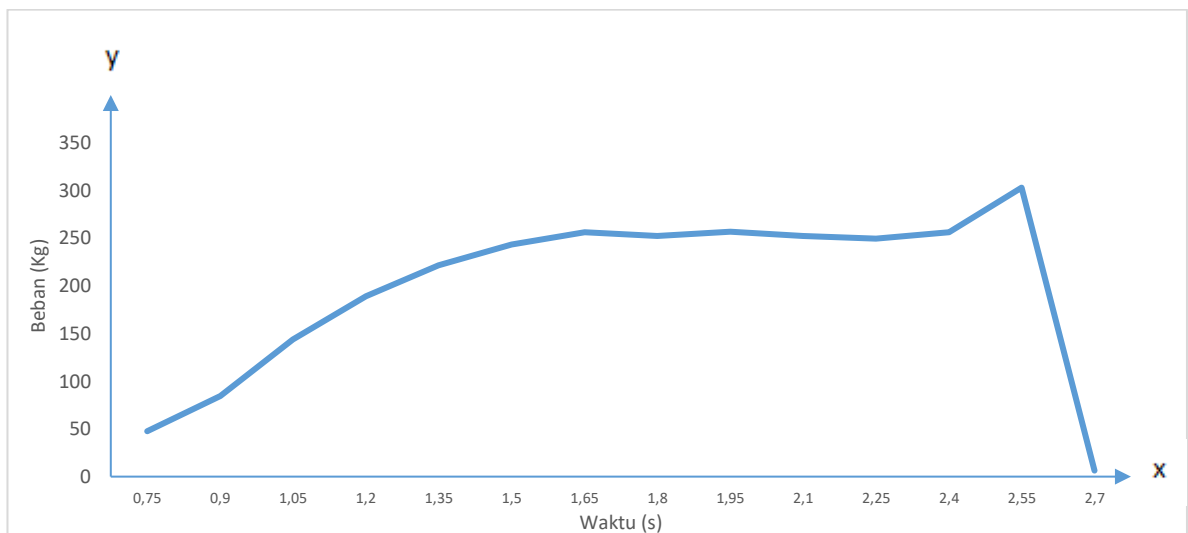
Gambar 4. 37 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-2 setelah perlakuan panas

4.3.3 Hasil Pengujian Pada Bahan Uji Percobaan ke-3

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.38 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-3. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.39 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,75 – 2,70 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 302,9 Kg pada waktu 2,55 detik.



Gambar 4. 38 Distribusi beban uji geser ke-3 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 39 Distribusi aktual beban uji geser ke-3 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.39 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 302,9 \text{ kg}$$

$$F = 2.971,449 \text{ N}$$

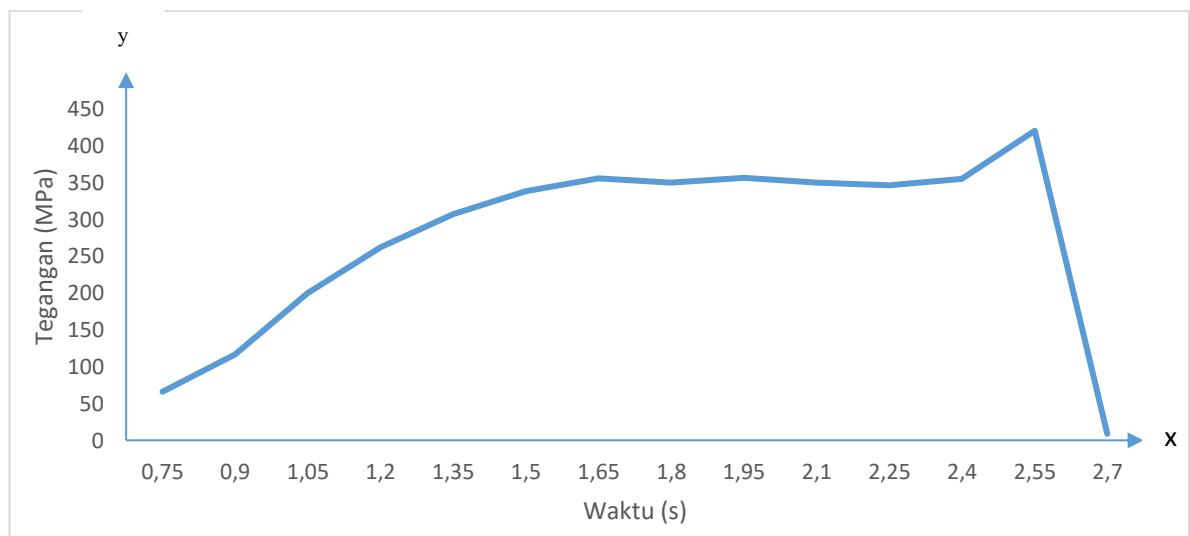
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.971,449 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 420,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 420,29 \text{ MPa}$$

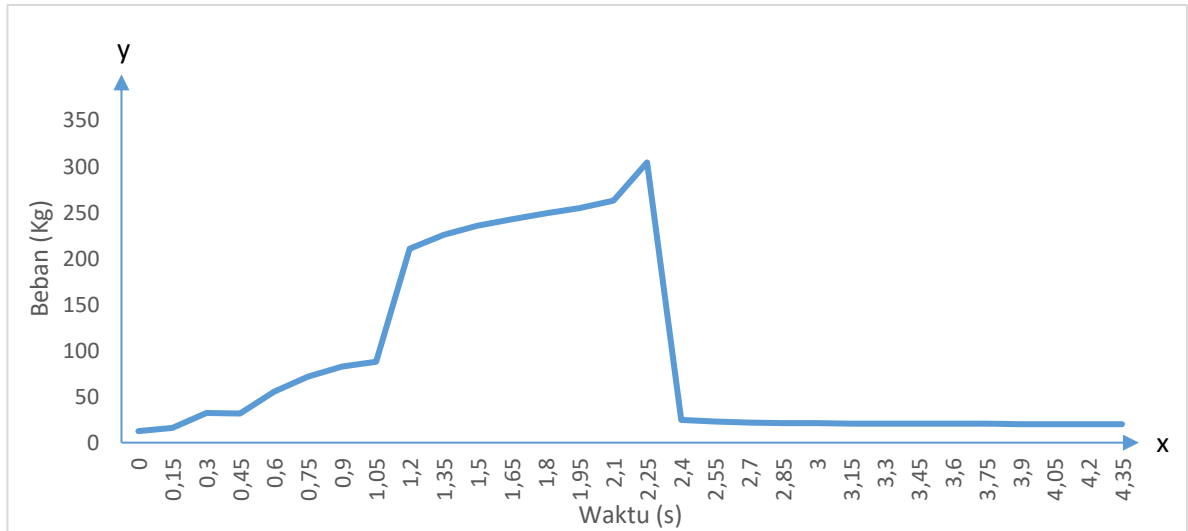
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-3 beban yang tercatat pada *load cell* sebesar 302,9 kg dan tegangan geser sebesar 420,29 MPa.



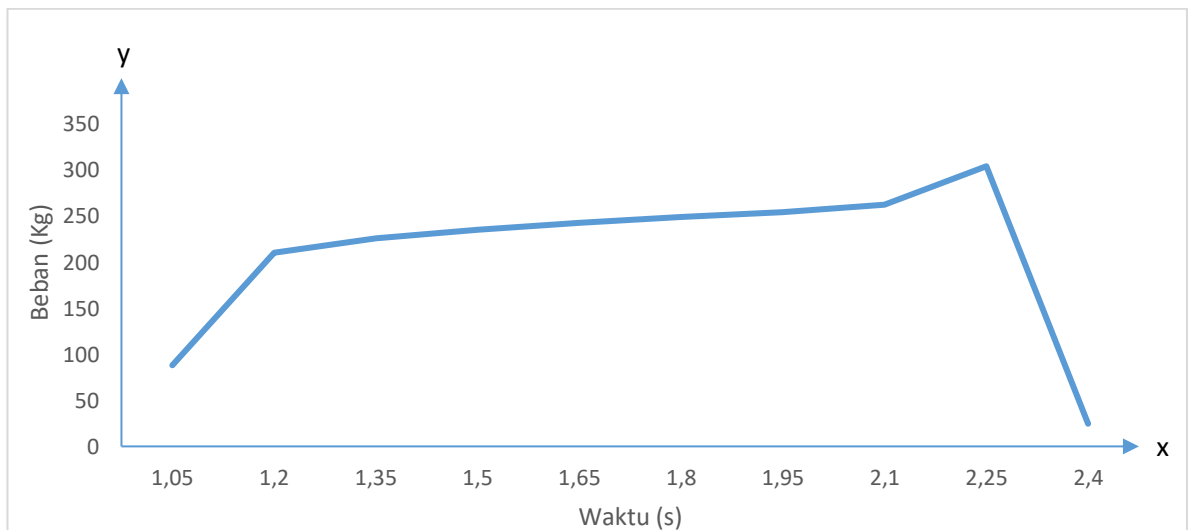
Gambar 4. 40 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-3 setelah perlakuan panas

4.3.4 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-4

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.41 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-4. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.42 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,05 – 2,40 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 304,32 Kg pada waktu 2,25 detik.



Gambar 4. 41 Distribusi beban uji geser ke-4 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 42 Distribusi aktual beban uji geser ke-4 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.42 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 304,32 \text{ kg}$$

$$F = 2985,4 \text{ N}$$

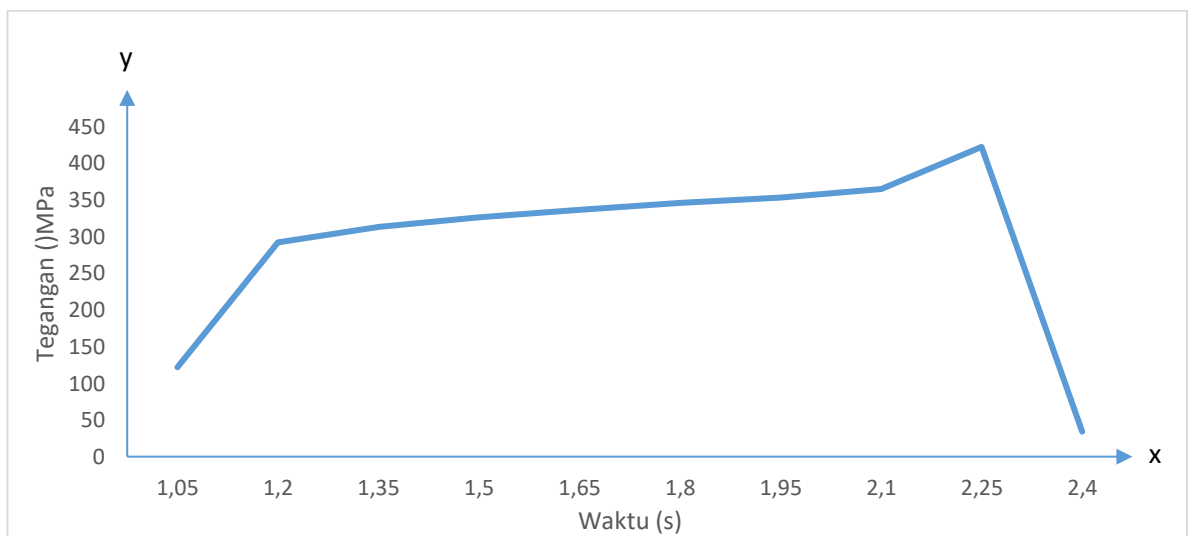
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.985,4 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 422,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 422,26 \text{ MPa}$$

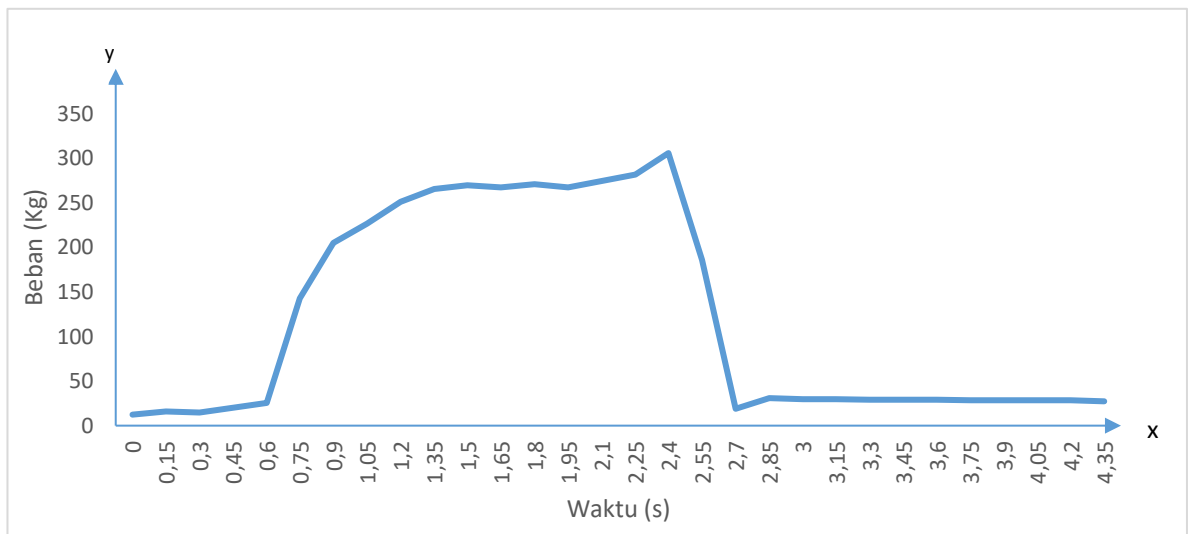
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-4 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 304,32 Kg dan tegangan geser sebesar 422,26 MPa.



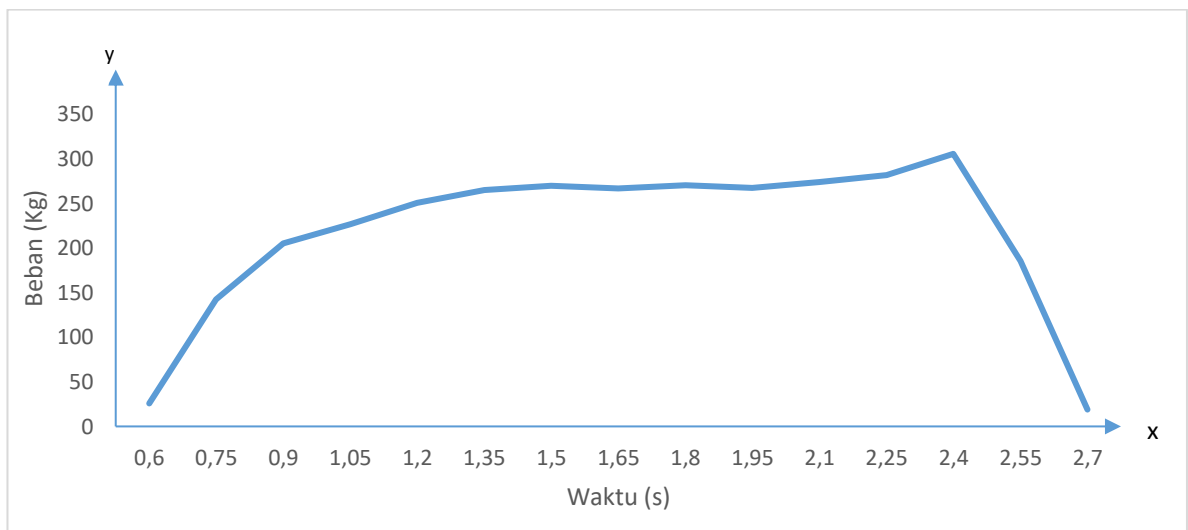
Gambar 4. 43 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-4 setelah perlakuan panas

4.3.5 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-5

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.44 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-5. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.45 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,60 – 2,70 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 305,56 Kg pada waktu 2,40 detik.



Gambar 4. 44 Distribusi beban uji geser ke-5 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 45 Distribusi aktual beban uji geser ke-5 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.45 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan sebesar. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 305,56 \text{ kg}$$

$$F = 2997,5 \text{ N}$$

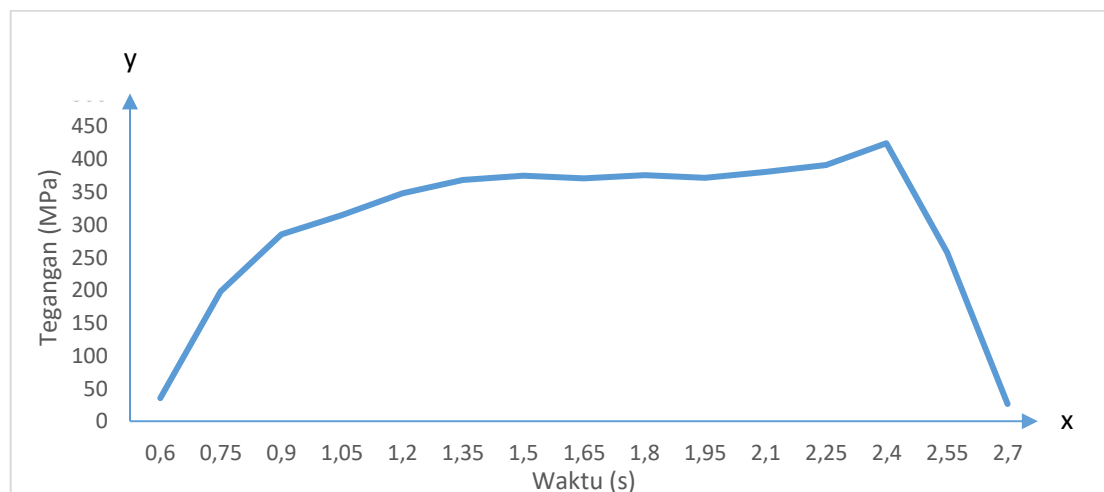
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.997,5 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 423,98 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 423,98 \text{ MPa}$$

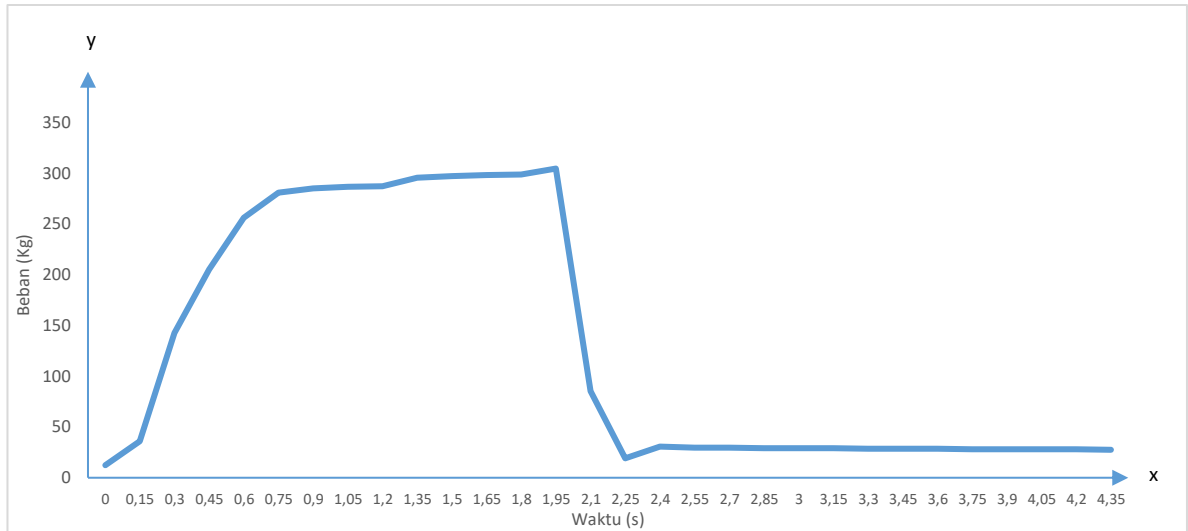
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-5 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 305,56 Kg dan tegangan geser sebesar 423,98 MPa.



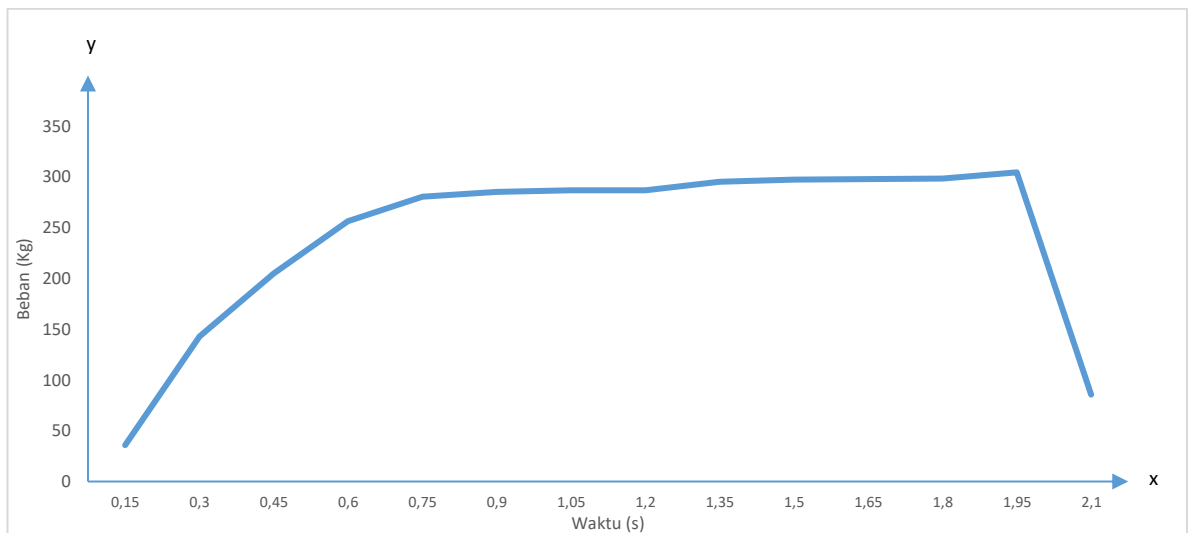
Gambar 4. 46 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-5 setelah perlakuan panas

4.3.6 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-6

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.47 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-6. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.48 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,15 – 2,10 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 304,56 Kg pada waktu 1,95 detik.



Gambar 4. 47 Distribusi beban uji geser ke-6 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 48 Distribusi aktual beban uji geser ke-6 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.48 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 304,56 \text{ kg}$$

$$F = 2987,7 \text{ N}$$

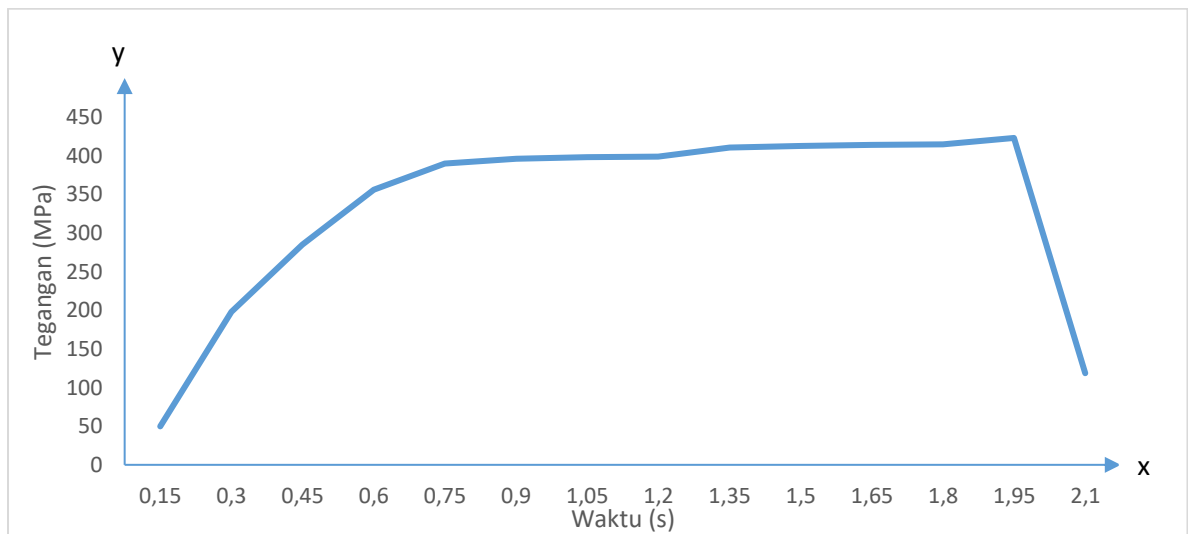
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.987,7 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 422,59 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 422,59 \text{ MPa}$$

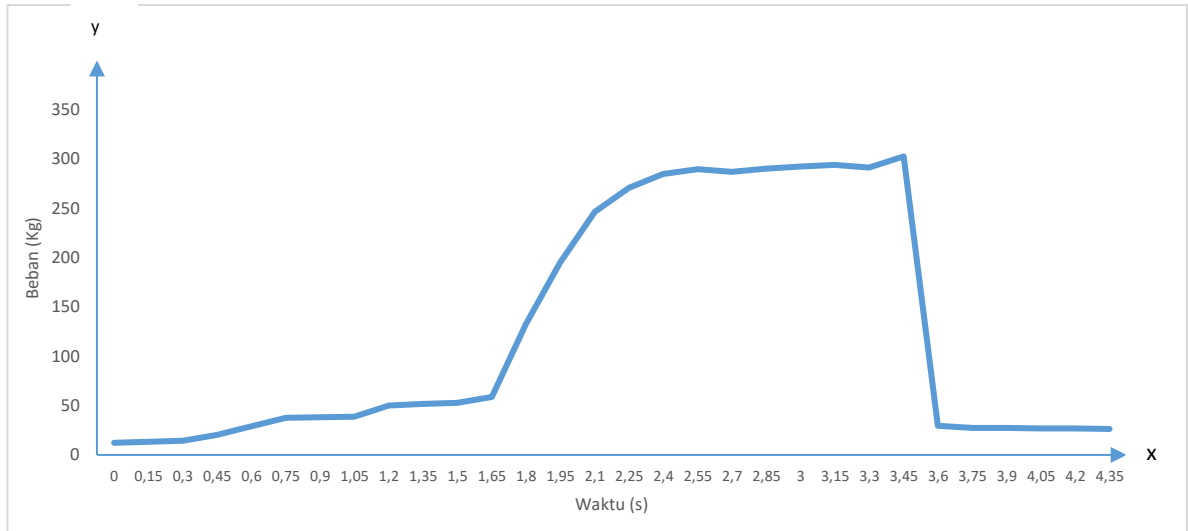
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-6 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 304,56 Kg dan tegangan geser sebesar 422,59 MPa.



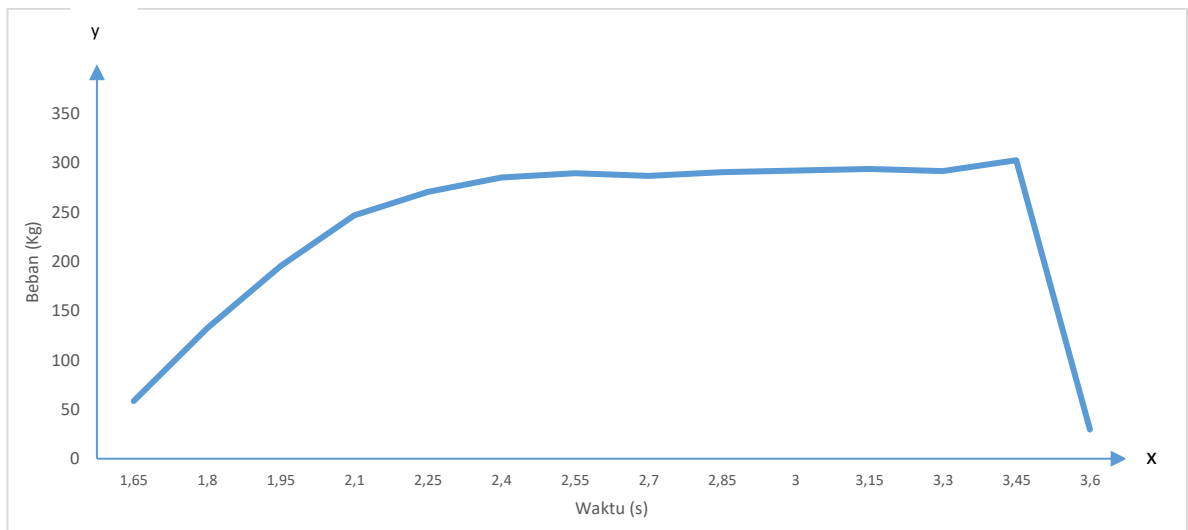
Gambar 4. 49 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-6 setelah perlakuan panas

4.3.7 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-7

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.50 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-7. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.51 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,65 – 3,60 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 302,67 Kg pada waktu 3,45 detik.



Gambar 4. 50 Distribusi beban uji geser ke-7 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 51 Distribusi aktual beban uji geser ke-7 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.51 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 302,67 \text{ kg}$$

$$F = 2.969,2 \text{ N}$$

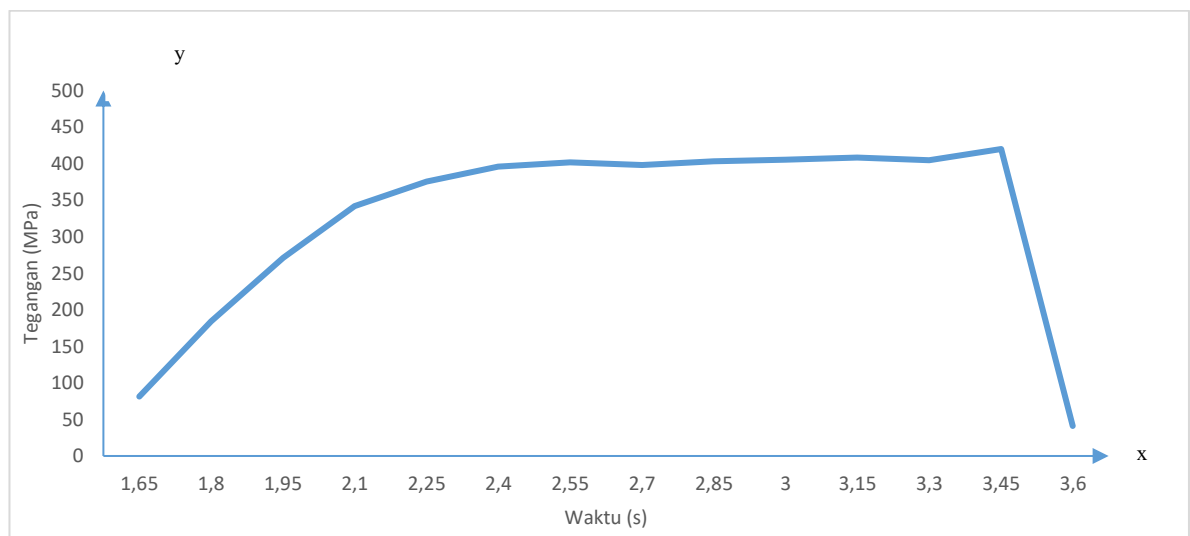
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.969,2 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 419,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 419,97 \text{ MPa}$$

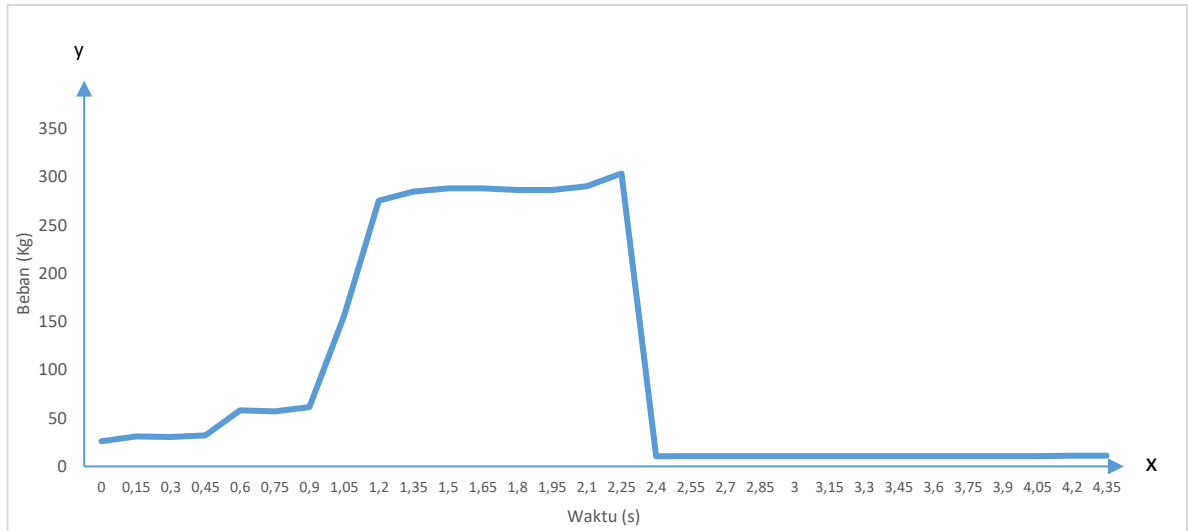
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-7 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 302,67 Kg dan tegangan geser sebesar 419,97 MPa.



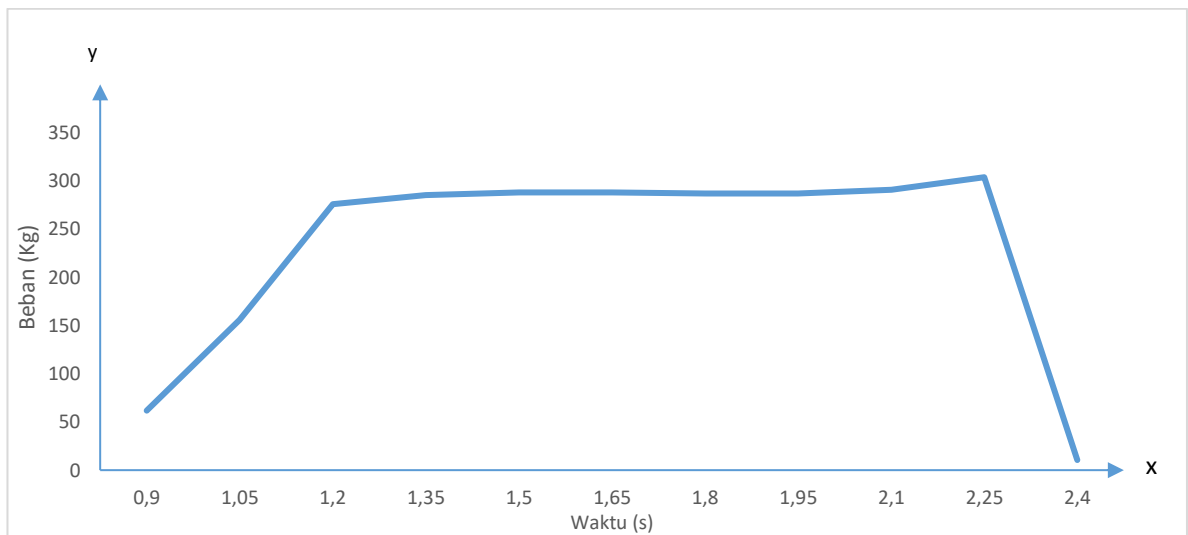
Gambar 4. 52 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-7 setelah perlakuan panas

4.3.8 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-8

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.53 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-8. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.54 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 0,90 – 2,40 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 303,7 Kg pada waktu 2,25 detik.



Gambar 4. 53 Distribusi beban uji geser ke-8 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 54 Distribusi aktual beban uji geser ke-8 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.54 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 303,7 \text{ kg}$$

$$F = 2.979,3 \text{ N}$$

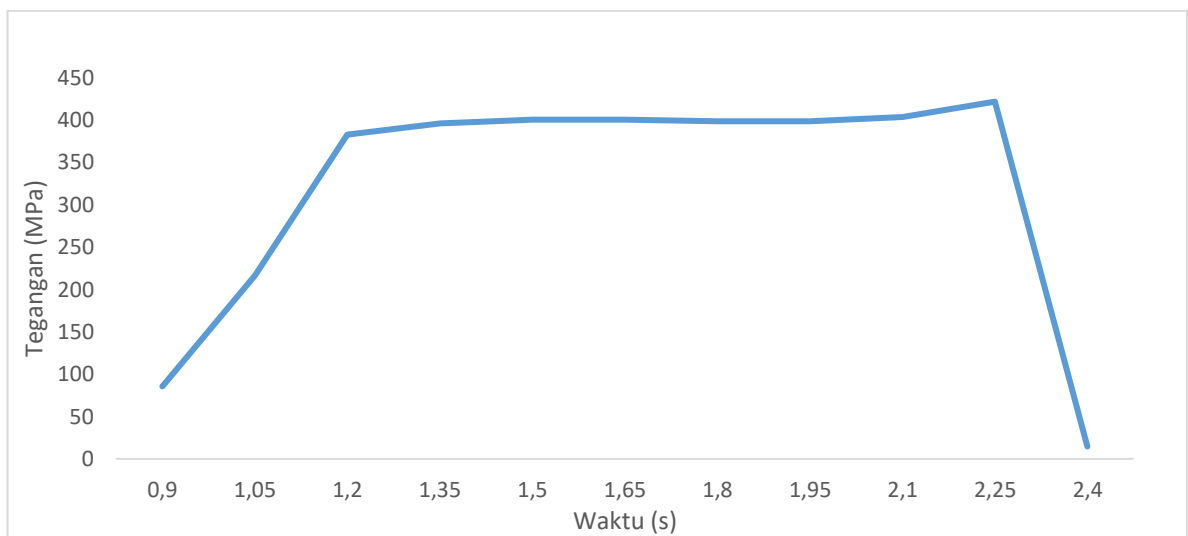
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.979,3 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 421,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 421,4 \text{ MPa}$$

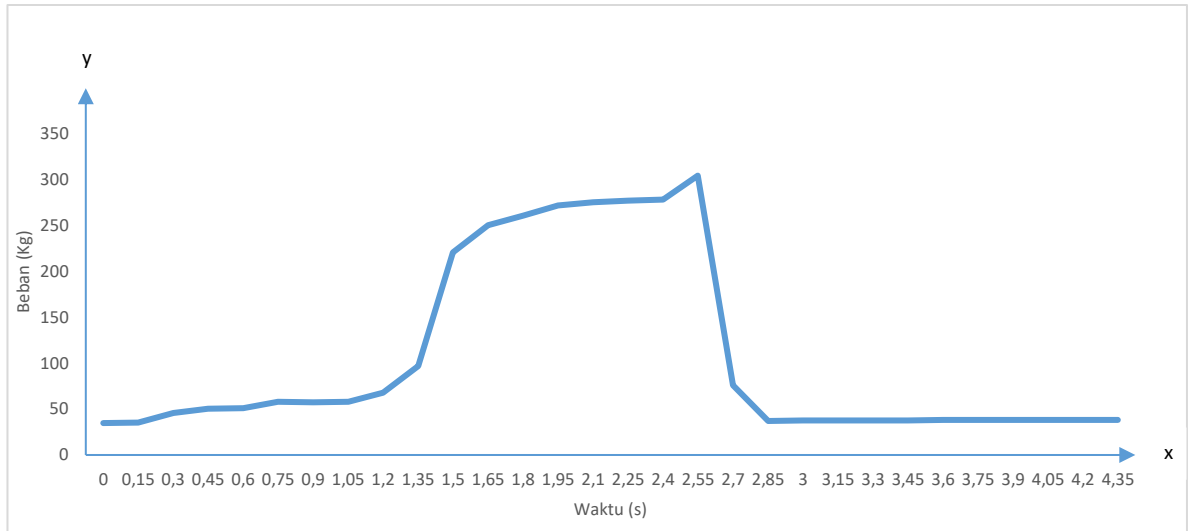
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-8 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 303,7 Kg dan tegangan geser sebesar 421,4 MPa.



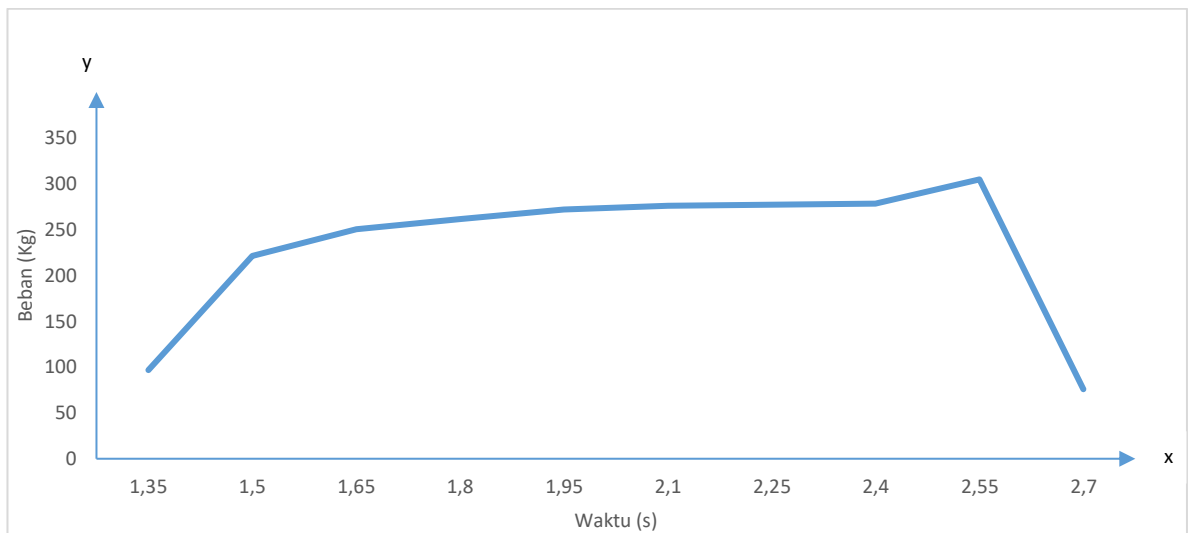
Gambar 4. 55 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-8 setelah perlakuan panas

4.3.9 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-9

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.56 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-9. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.57 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,35 – 2,70 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 304,66 Kg pada waktu 2,55 detik.



Gambar 4. 56 Distribusi beban uji geser ke-9 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 57 Distribusi aktual beban uji geser ke-9 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.57 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 304,66 \text{ kg}$$

$$F = 2988,715 \text{ N}$$

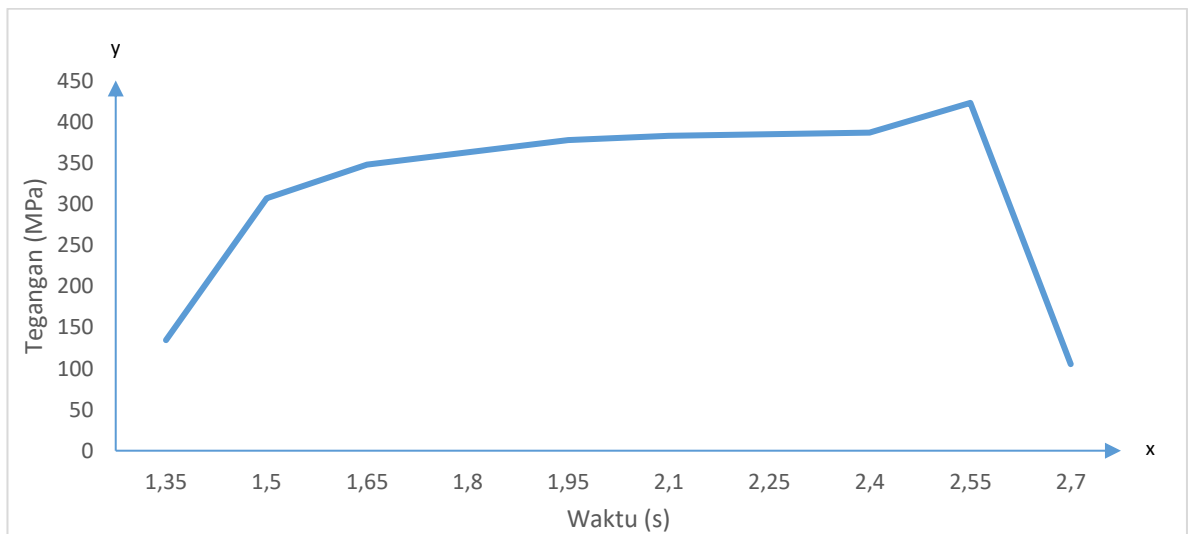
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.988,715 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 422,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 422,73 \text{ MPa.}$$

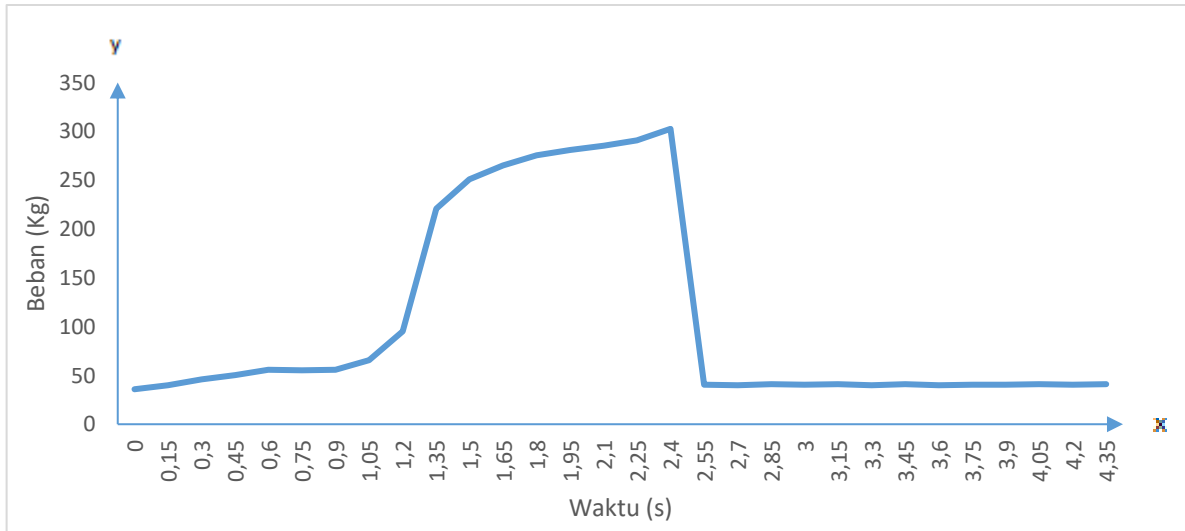
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-9 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 304,66 Kg dan tegangan geser sebesar 422,73 MPa.



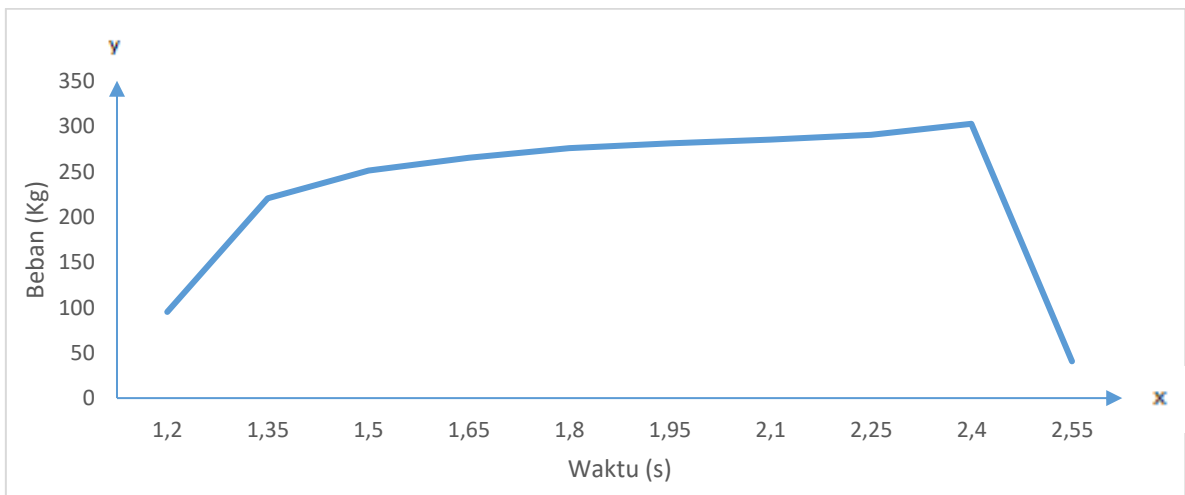
Gambar 4. 58 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-9 setelah perlakuan panas

4.3.10 Hasil pengujian pada bahan uji percobaan ke-10

Grafik menunjukkan pembacaan gaya oleh sensor *load cell* selama proses uji geser. Merujuk Gambar 4.5 ditunjukkan distribusi beban terhadap waktu selama pengujian geser ke-10. Terlihat bahwa beban mengalami peningkatan seiring waktu hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun drastis yang menandakan terjadinya patahan pada spesimen. Untuk memperjelas bagian utama pengujian, Gambar 4.59 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,20 – 2,55 detik ketika proses geser terjadi. Pada rentang waktu, beban maksimum tercatat sebesar 302,5 Kg pada waktu 2,40 detik.



Gambar 4. 59 Distribusi beban uji geser ke-10 setelah perlakuan panas



Gambar 4. 60 Distribusi aktual beban uji geser ke-10 setelah perlakuan panas

Merujuk pada gambar 4.60 nilai tekanan yang diberikan untuk mematahkan spesimen yang sudah dipanaskan. Maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F = 302,5 \text{ kg}$$

$$F = 2967,52 \text{ N}$$

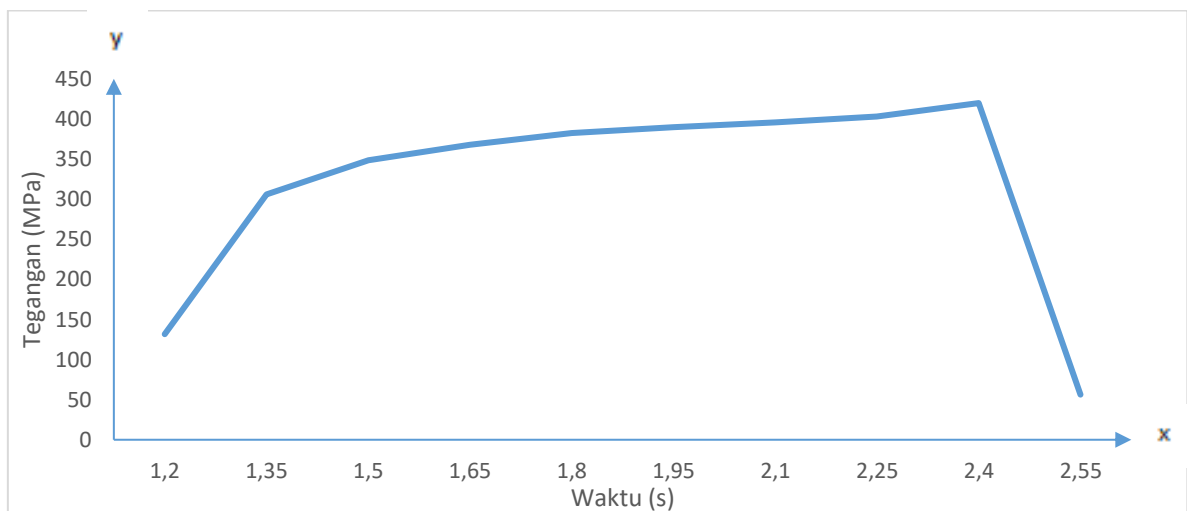
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2.967,52 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 419,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 419,73 \text{ MPa}$$

Pada pengujian bahan uji percobaan ke-10 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 302,5 Kg dan tegangan geser sebesar 419,73 MPa.



Gambar 4. 61 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-10 setelah perlakuan panas

Setelah dilakukannya pengujian geser material *Stainless Steel* 304 yang telah diberikan perlakuan panas dapat kita lihat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4. Dimana bahan uji memiliki rata-rata tegangan geser 422,231 MPa pada diameter 3 mm. Dengan deviasi tegangan geser $\pm 1,90$ MPa.

Tabel 4. 3 Nilai gaya yang dibaca *load cell*

Percobaan Ke-	GAYA (Kg)
1	306,79
2	305,3
3	302,9
4	304,32
5	305,56
6	304,56
7	302,67
8	303,7
9	304,66
10	302,5
Rata-Rata	304,296

Tabel 4. 4 Nilai tegangan geser *stainless steel* 304 yang sudah dipanaskan

Percobaan Ke-	Tegangan Geser (MPa)
1	425,64
2	423,6
3	420,29
4	422,26
5	423,98
6	422,59
7	419,97
8	421,4
9	422,73
10	419,73
Rata-Rata	422,219

4.4 Perbandingan Hasil Uji Tegangan Geser Material

Pengujian dilakukan terhadap material *Stainless Steel* 304 dalam dua kondisi, yaitu **tanpa perlakuan panas (kondisi awal)** dan **setelah diberi perlakuan panas pada suhu 400°C - 450°C**. Perlakuan panas ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kekuatan geser material tersebut. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan diperoleh nilai tegangan geser rata-rata sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Rata-Rata Tegangan Geser

<i>Stainless Steel</i> 304	Nilai Rata-rata Tegangan Geser (MPa)
Normal atau belum diberi perlakuan	472,554
Sesudah dipanaskan	422,219

Data percobaan menunjukkan bahwa tegangan geser rata-rata *Stainless Steel* 304 mengalami penurunan setelah dipanaskan pada suhu 400–450°C, dari 472,554 MPa menjadi 422,219 MPa, yaitu penurunan $\pm 10\%$. Menurut Nurya Rachmat Dani dkk. (2020), tempering pada 400°C menurunkan kekerasan akibat transformasi martensit menjadi ferrit dan bainit, sehingga kekuatan berkurang meski keuletan meningkat. Hasil serupa dilaporkan Adi Prastyo dkk. (2022), bahwa pada 400°C kekuatan tarik dan modulus elastis CD304SS mulai menurun.