

BAB IV

ANALISA HASIL PENGUJIAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang telah dilakukan serta pembahasan mendalam mengenai temuan yang diperoleh. Data yang diperoleh dari penelitian akan diuraikan secara sistematis untuk memberikan gambaran yang jelas tentang capaian penelitian ini. Selanjutnya, hasil-hasil tersebut akan dianalisis dan diinterpretasikan dengan mengacu pada kerangka teori dan tinjauan pustaka yang telah dibahas sebelumnya.

4.1 Prosedur Pengujian

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

1. Persiapan Alat dan Bahan

Siapkan seluruh perlengkapan yang dibutuhkan, yaitu: alat uji shearing, spesimen (Kuningan), 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 Kuningan. Untuk diameter spesimen 3 mm, tegangan tariknya berkisar antara **338-469 MPa**.

Hitung estimasi tegangan geser menggunakan rumus:

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

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.

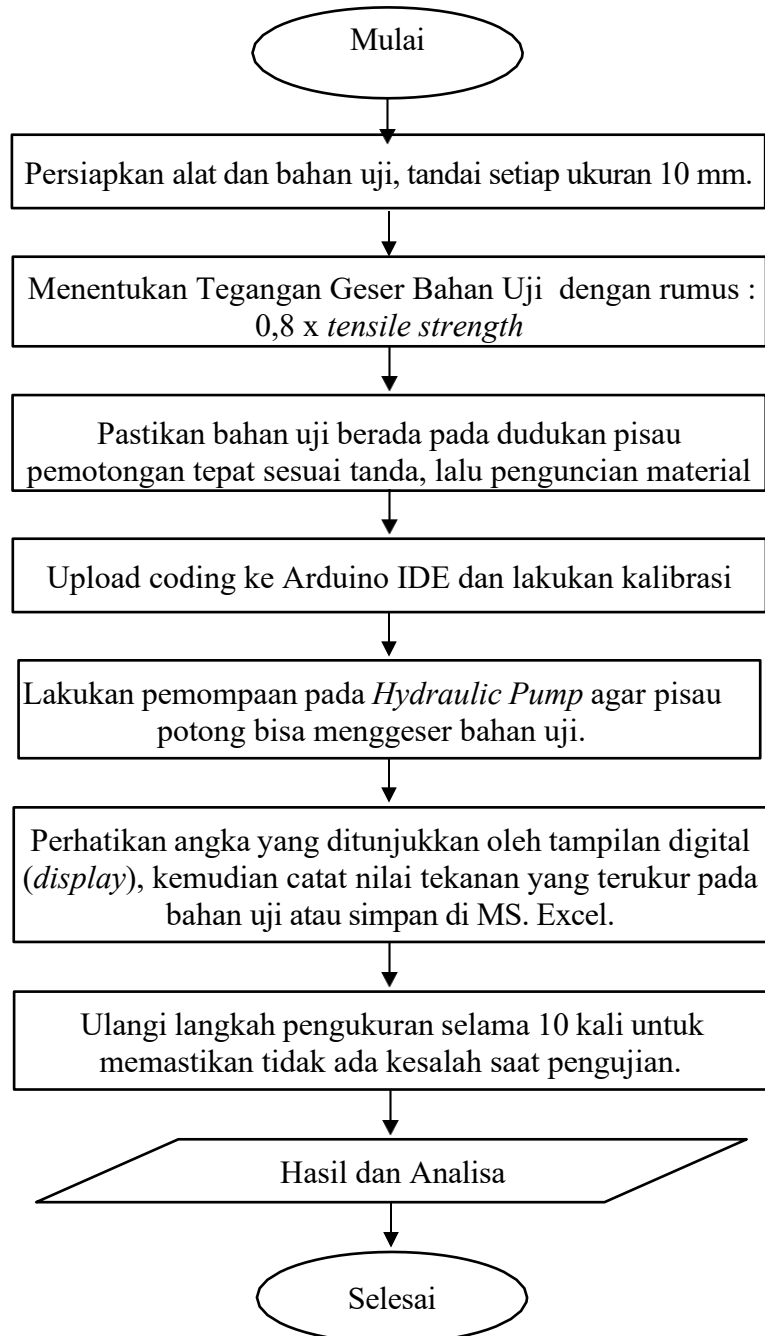
9. Pencatatan Data

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.

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



Gambar 4. 1 Prosedur pengujian

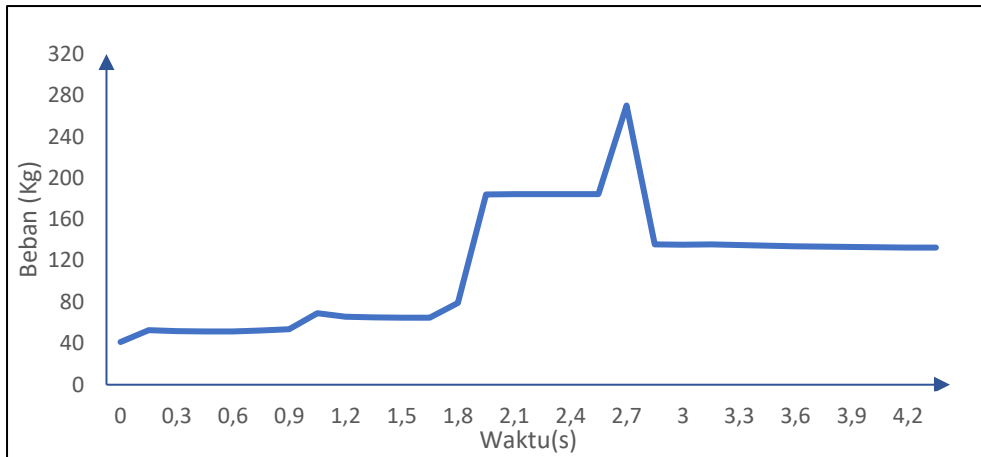
4.2 Pengambilan Data Pengujian Menggunakan Sensor *Load Cell*

Pada pengujian geser material Kuningan 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.

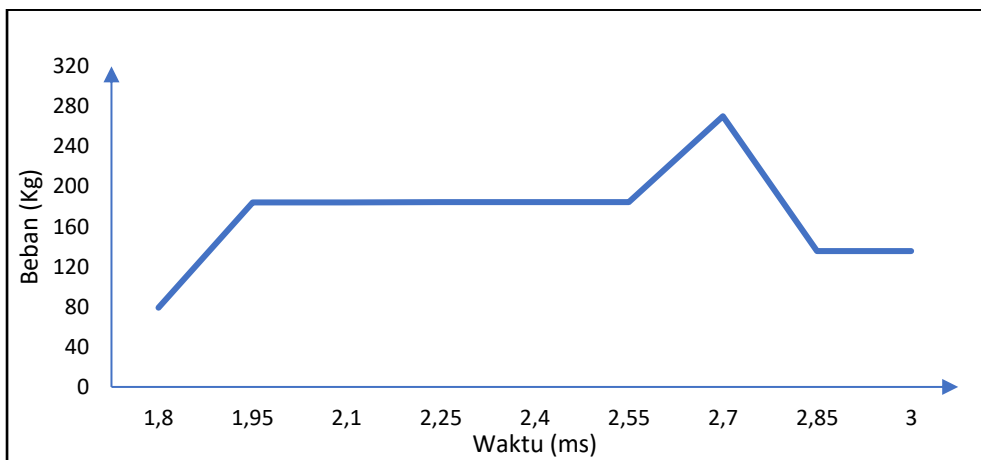
Setelah melakukan pengujian geser didapatkan hasil nilai pergeseran dari setiap percobaan yang direkam melalui sensor *load cell*. Berikut uraian hasil pengujian geser material Kuningan :

4.2.1 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-1

Merujuk pada 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 1,8 – 3 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 270,19 kg pada waktu 2,7 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 :

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

$$F = 270,19 \text{ Kg}$$

$$F = 2650,56 \text{ N}$$

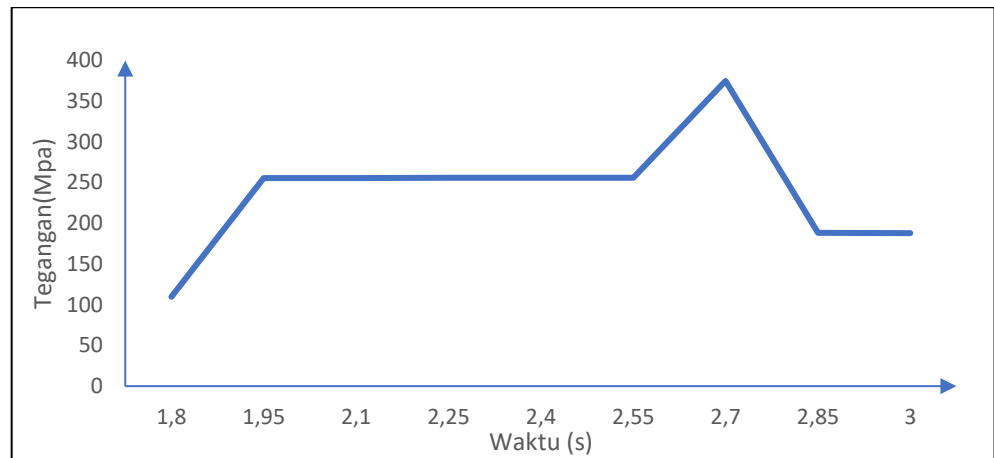
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2650,56 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,9 \text{ MPa}$$

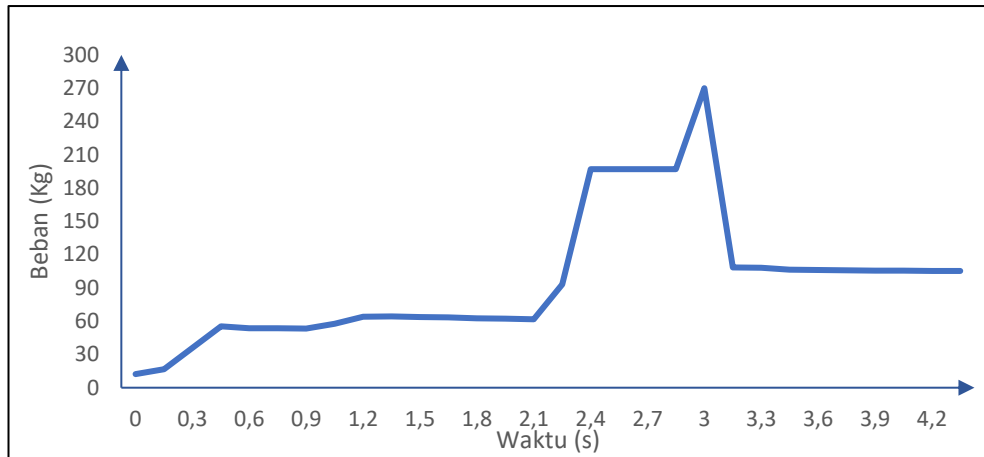
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-1 sebesar 374,9 N/mm² atau 374,9 MPa.



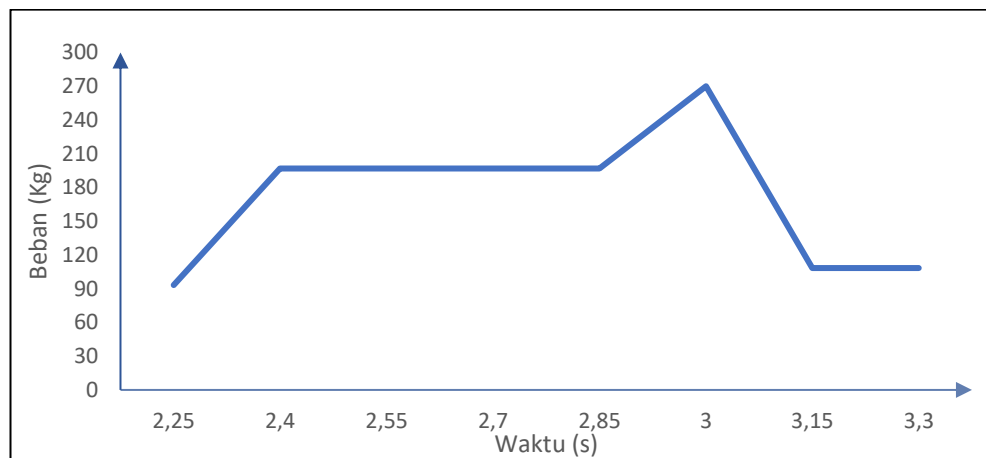
Gambar 4. 4 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-1

4.2.2 Hasil Pengujian pada bahan Uji Percobaan ke-2

Merujuk pada 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 2,25 – 3,3 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 269,99 kg pada waktu 3 detik.



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



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

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

Diketahui :

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

$$F = 269,99 \text{ kg}$$

$$F = 2648,6 \text{ N}$$

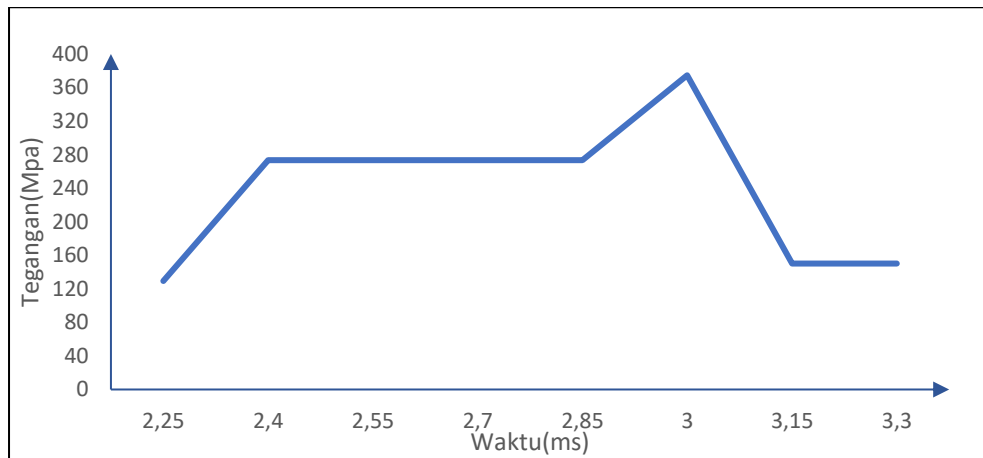
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2648,6 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,63 \text{ Mpa}$$

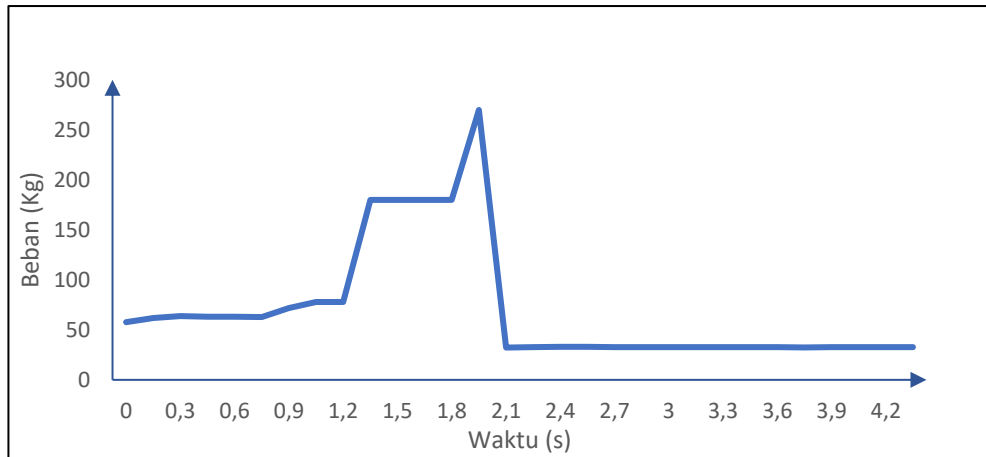
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-2 sebesar 374,63 Mpa.



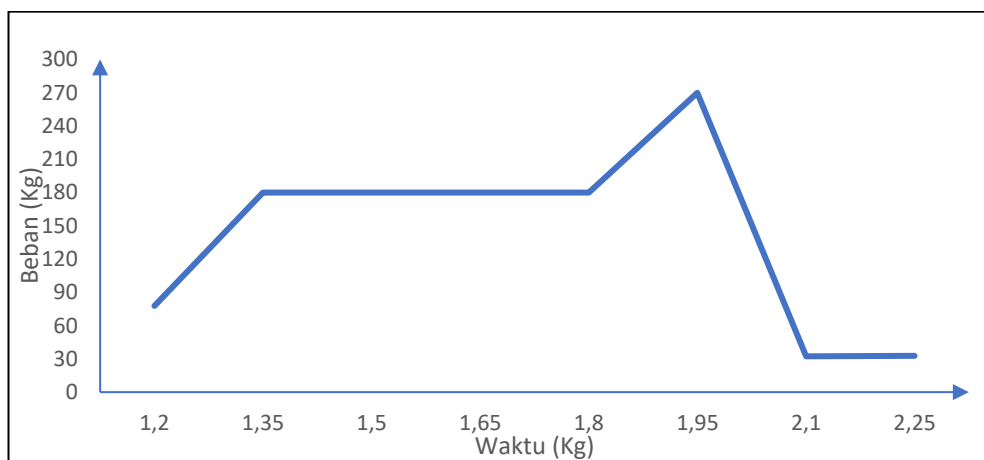
Gambar 4. 7 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-2

4.2.3 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-3

Merujuk pada 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 1,2 – 2,25 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 269,81 kg pada waktu 1,95 detik.



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



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

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

Diketahui :

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

$$F = 269,81 \text{ kg}$$

$$F = 2646,84 \text{ N}$$

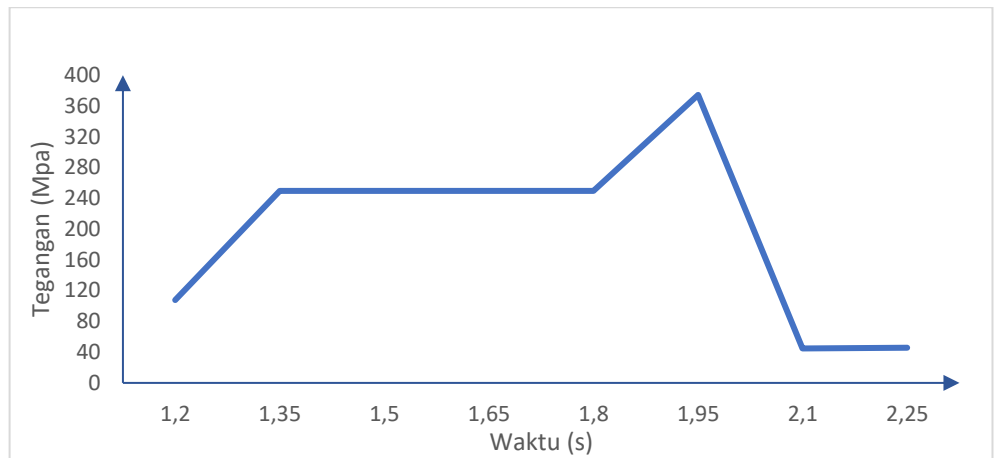
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2646,84 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,38 \text{ Mpa}$$

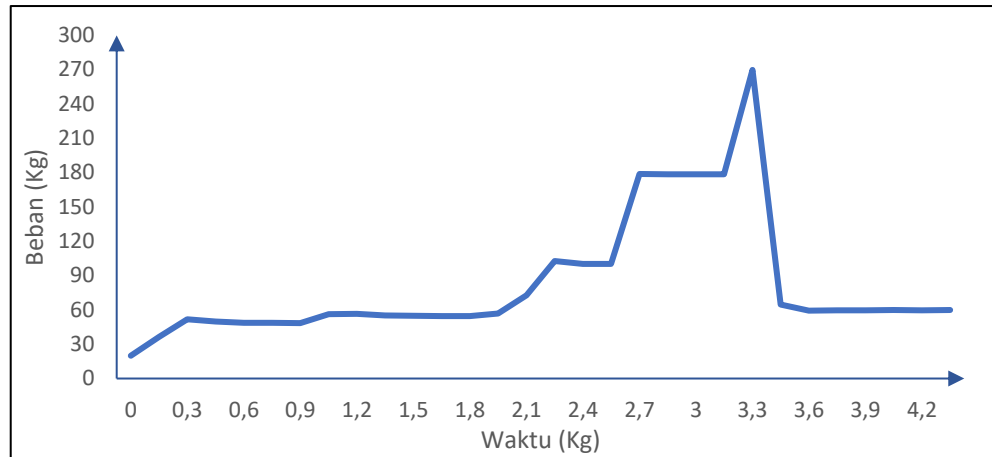
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-3 sebesar 374,38 Mpa.



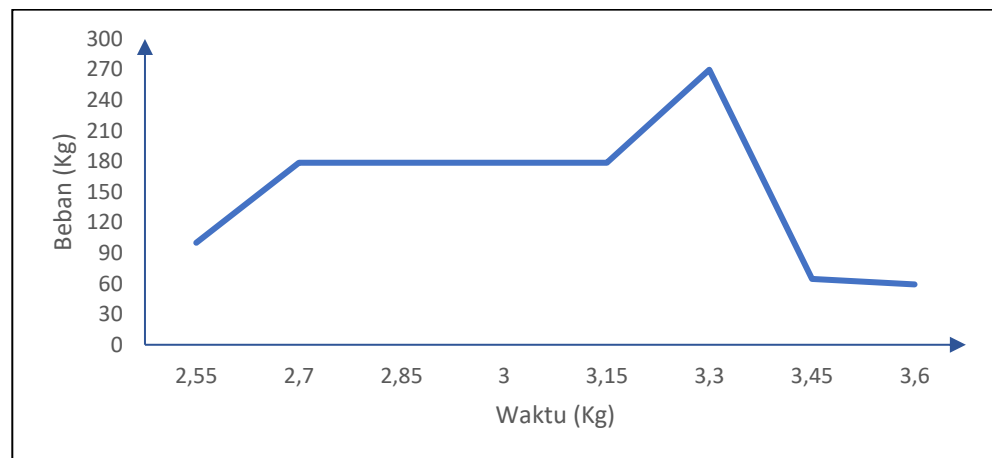
Gambar 4. 10 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-3

4.2.4 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-4

Merujuk pada 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 2,55 – 3,6 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 269,79 kg pada waktu 3,3 detik.



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



Gambar 4. 12 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-4
Merujuk pada gambar 4.12, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 269,79 \text{ kg}$$

$$F = 2646,64 \text{ N}$$

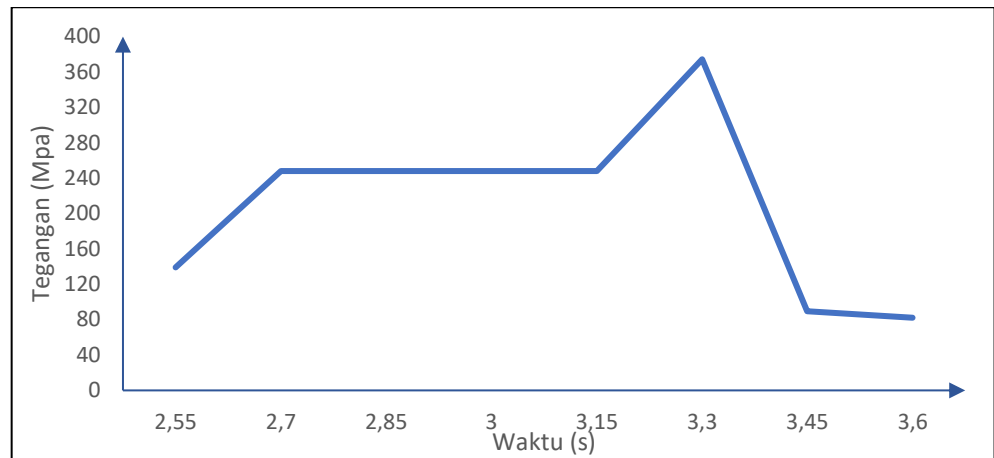
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2646,64 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,35 \text{ Mpa}$$

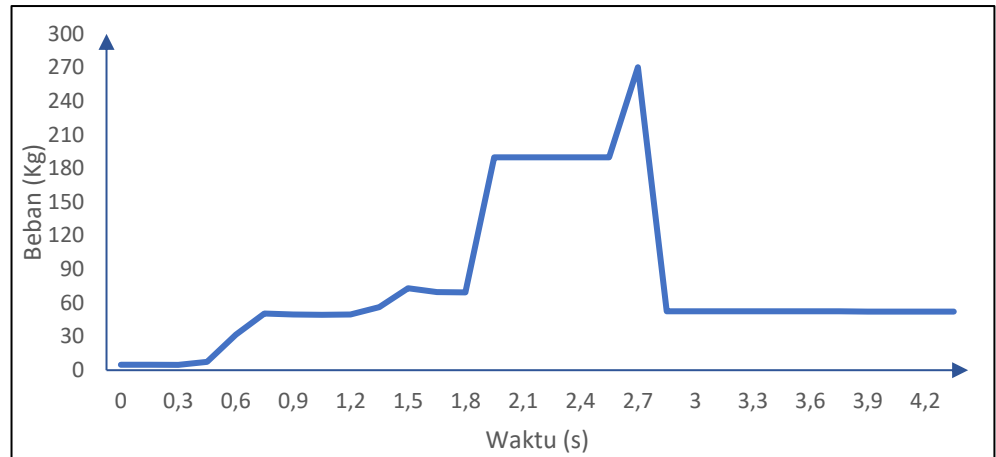
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-4 sebesar 374,35 Mpa.



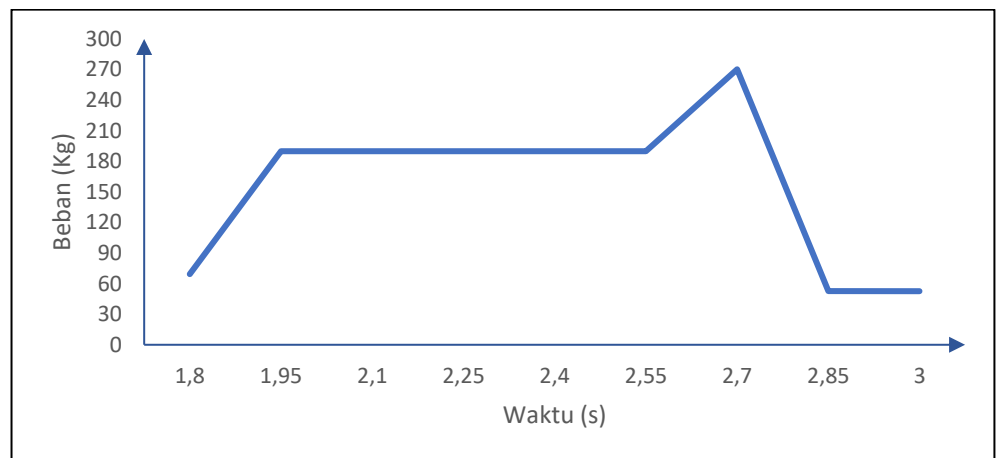
Gambar 4. 13 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-4

4.2.5 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-5

Merujuk pada 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 1,8 – 3 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 270,23 kg pada waktu 2,7 detik.



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



Gambar 4. 15 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke -5
Merujuk pada gambar 4.15, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 270,23 \text{ kg}$$

$$F = 2650,96 \text{ N}$$

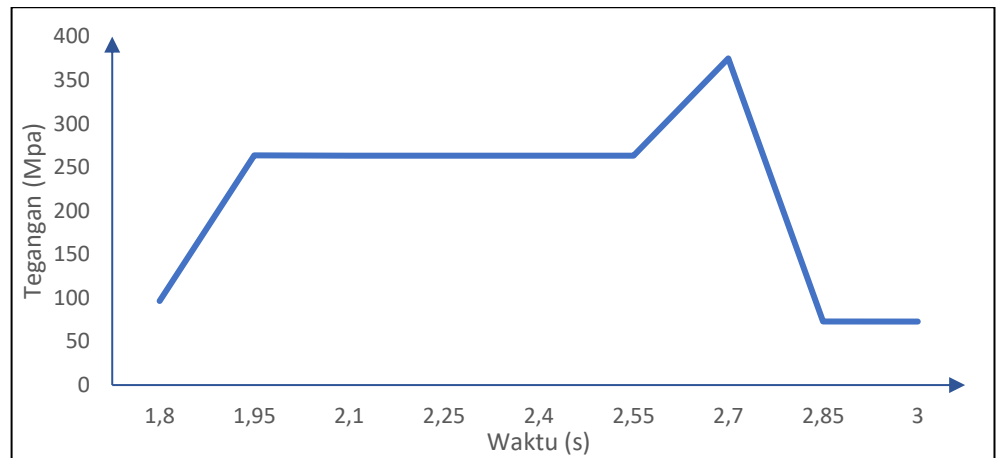
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2650,96 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,96 \text{ Mpa}$$

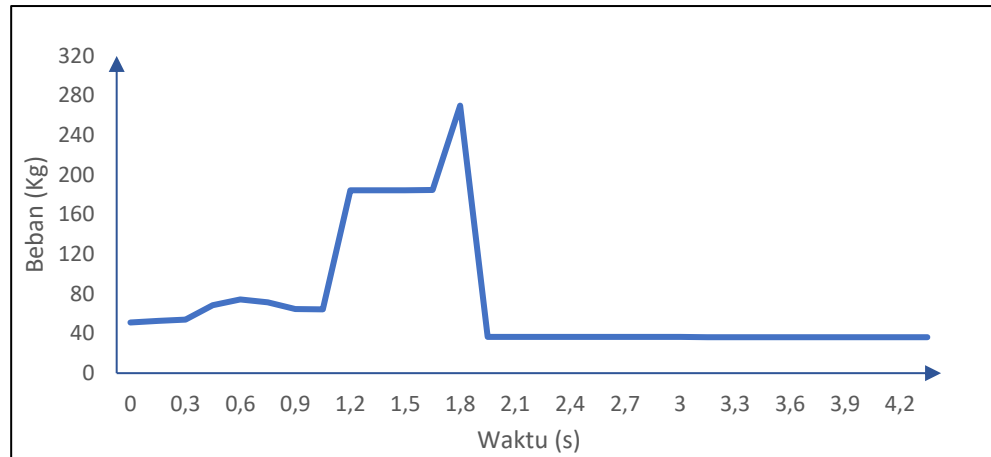
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-5 sebesar 374,96 Mpa.



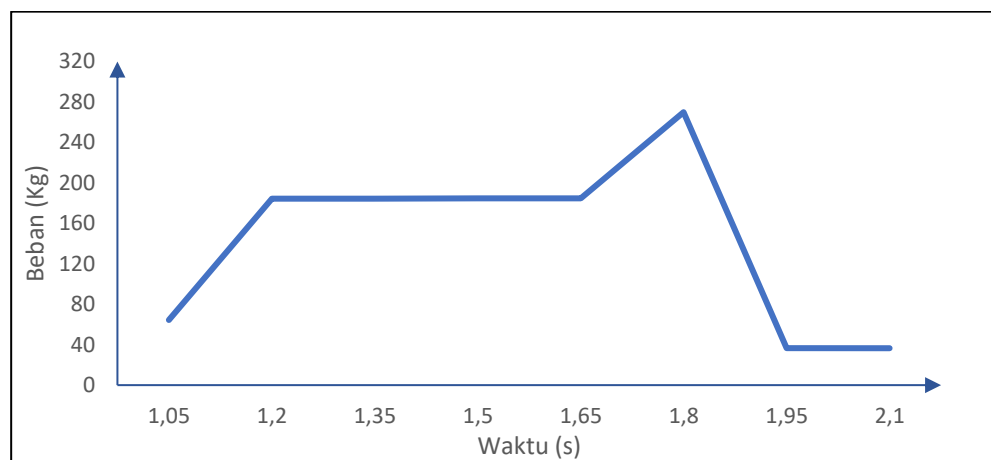
Gambar 4. 16 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-5

4.2.6 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-6

Merujuk pada 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 1,05-2,1 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 269,91 kg pada waktu 1,8 detik.



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



Gambar 4. 18 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-6
Merujuk pada gambar 4.18, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 269,91 \text{ kg}$$

$$F = 2647,82 \text{ N}$$

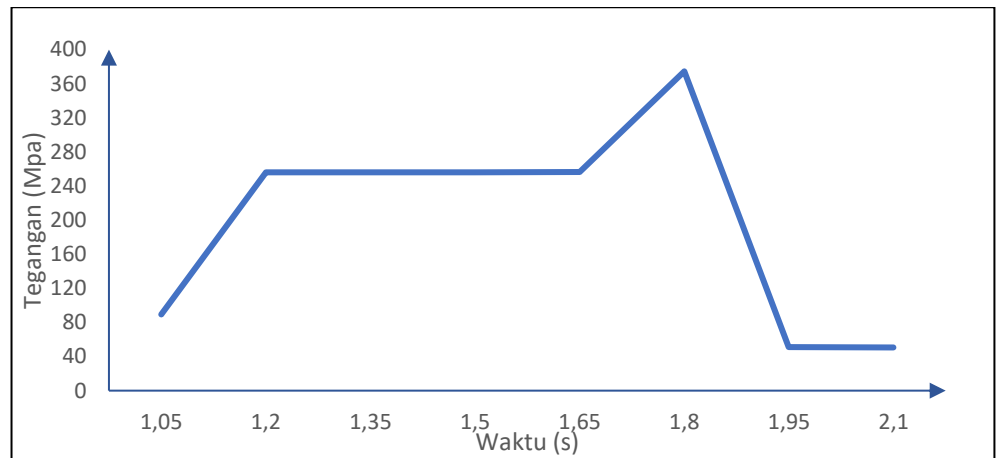
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2647,82 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,51 \text{ Mpa}$$

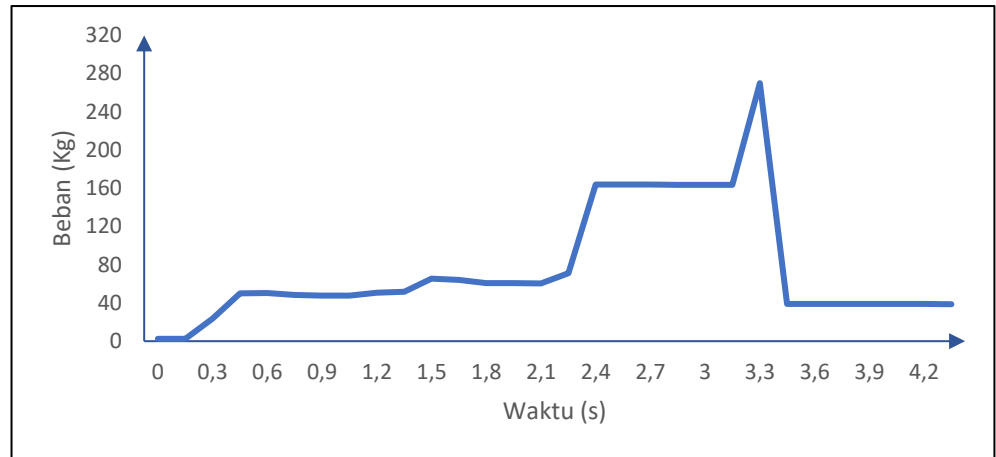
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-6 sebesar 374,51 Mpa.



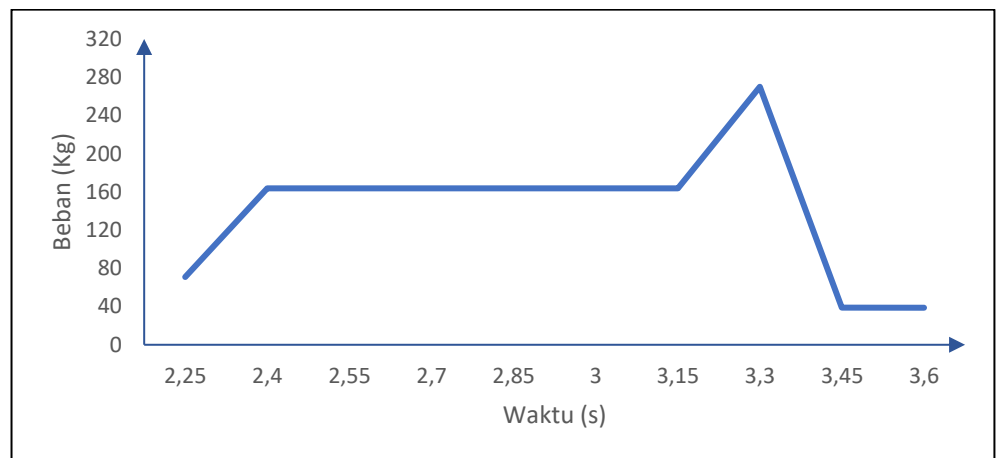
Gambar 4. 19 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-6

4.2.7 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-7

Merujuk pada 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 2,25-3,6 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 269,97 kg pada waktu 3,3 detik.



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



Gambar 4. 21 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-7
Merujuk pada gambar 4.21, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 269,97 \text{ kg}$$

$$F = 2648,41 \text{ N}$$

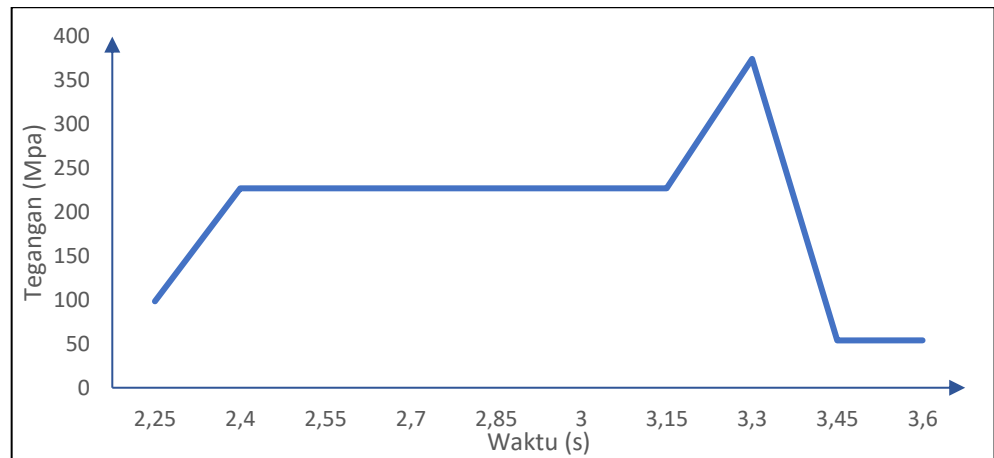
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2648,41 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,6 \text{ Mpa}$$

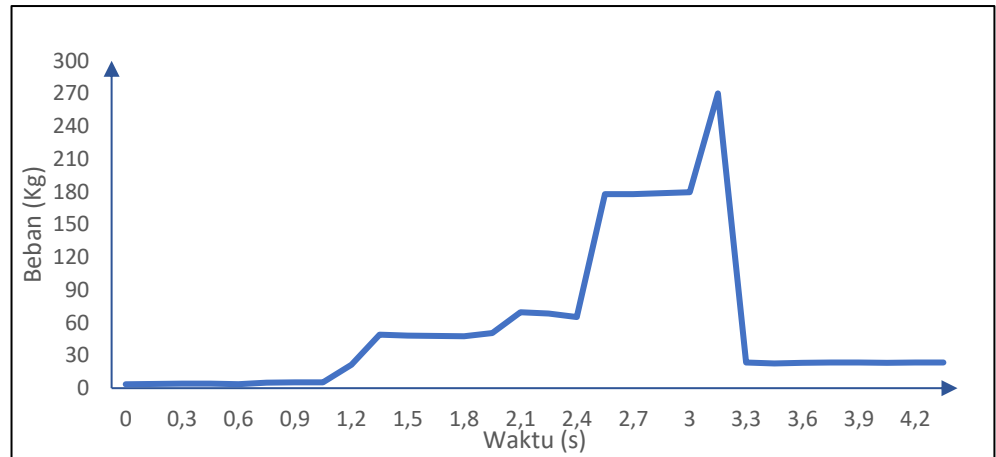
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-7 sebesar 374,6 Mpa.



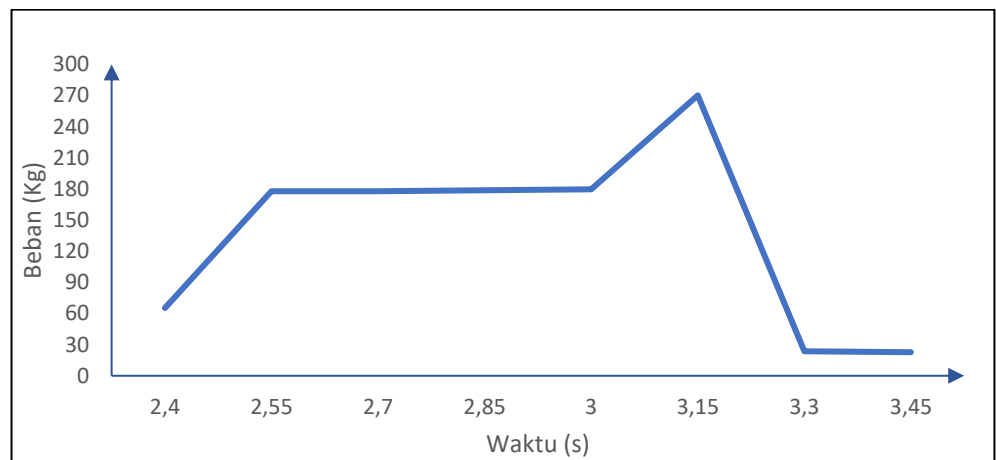
Gambar 4. 22 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-7

4.2.8 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-8

Merujuk pada 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 2,4-3,45 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 270,12 kg pada waktu 3,15 detik.



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



Gambar 4. 24 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-8
Merujuk pada gambar 4.24, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 270,12 \text{ kg}$$

$$F = 2649,88 \text{ N}$$

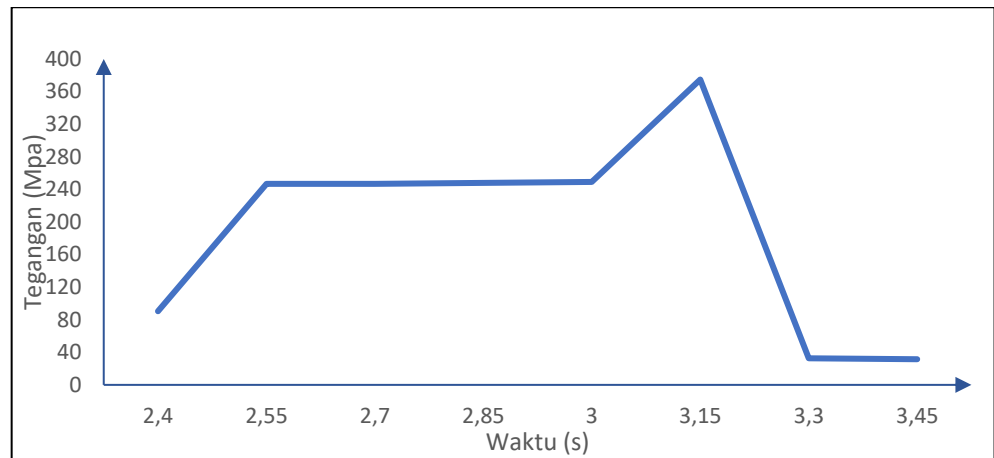
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2649,88 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,81 \text{ Mpa}$$

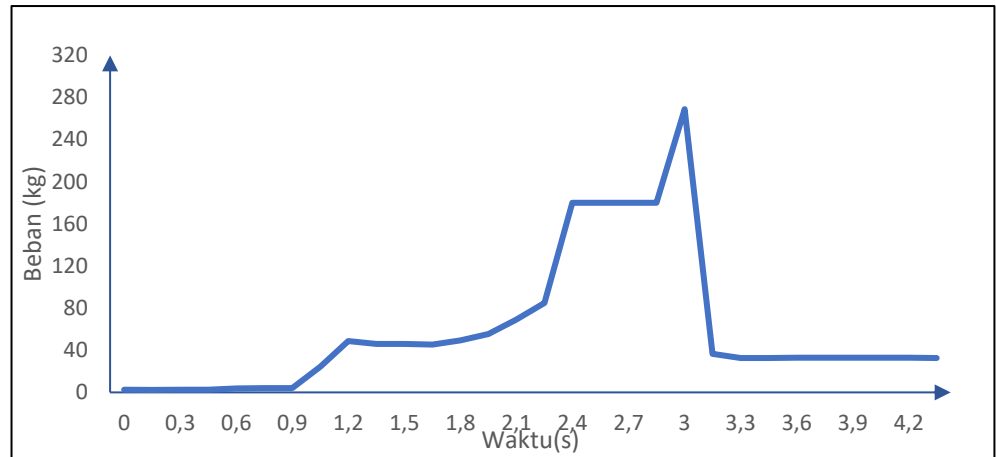
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-8 sebesar 374,81 Mpa.



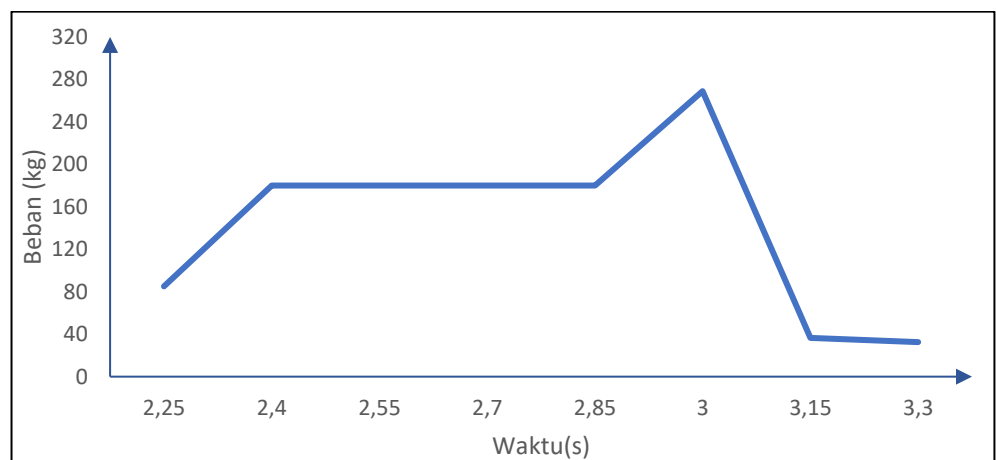
Gambar 4. 25 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-8

4.2.9 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-9

Merujuk pada 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 4.25 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 2,2-3,3 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 268,93 kg pada waktu 3 detik.



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



Gambar 4. 27 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-9
Merujuk pada gambar 4.27, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 268,93 \text{ kg}$$

$$F = 2638,2 \text{ N}$$

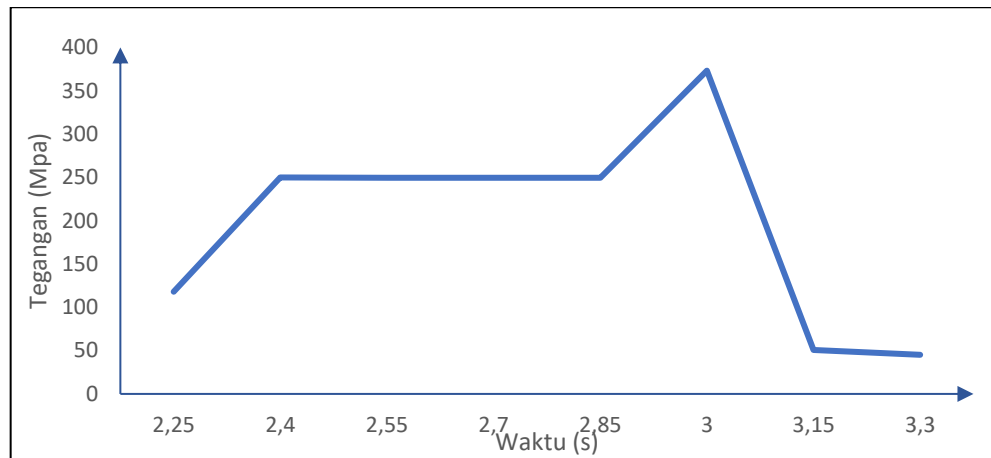
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2638,2 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 373,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 373,15 \text{ Mpa}$$

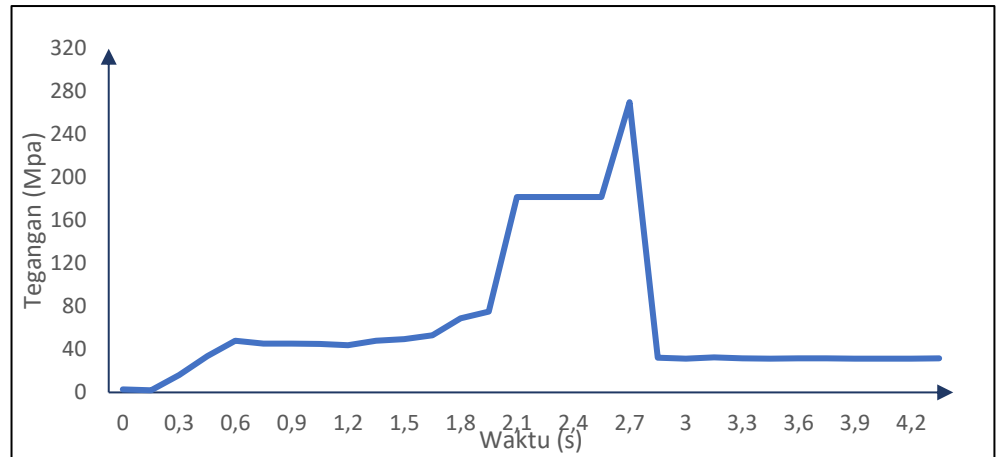
Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-9 sebesar 373,15 Mpa.



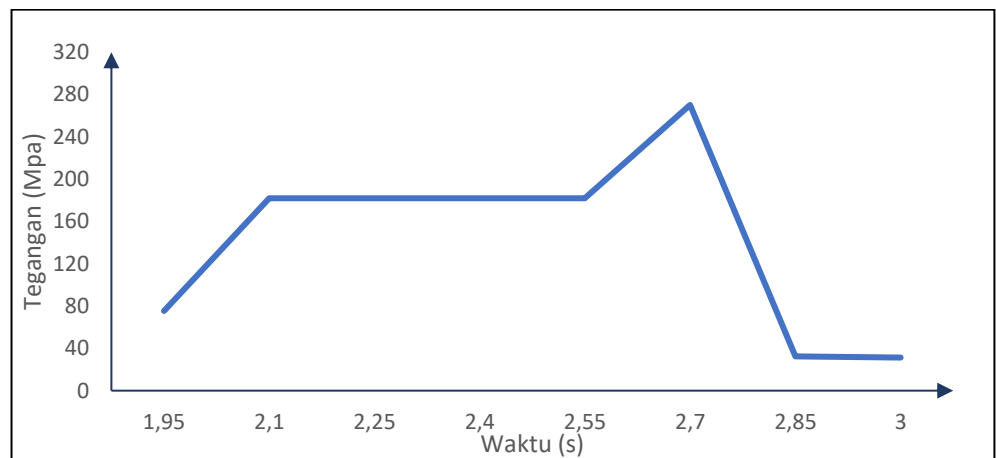
Gambar 4. 28 Distribusi aktual tegangan selama waktu pengujian geser ke-9

4.2.10 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-10

Merujuk pada 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 2,2-3,3 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 268,93 kg pada waktu 3 detik.



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



Gambar 4. 30 Distribusi aktual selama waktu pengujian geser ke-10
Merujuk pada gambar 4.30, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

Diketahui :

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

$$F = 270,21 \text{ kg}$$

$$F = 2650,76 \text{ N}$$

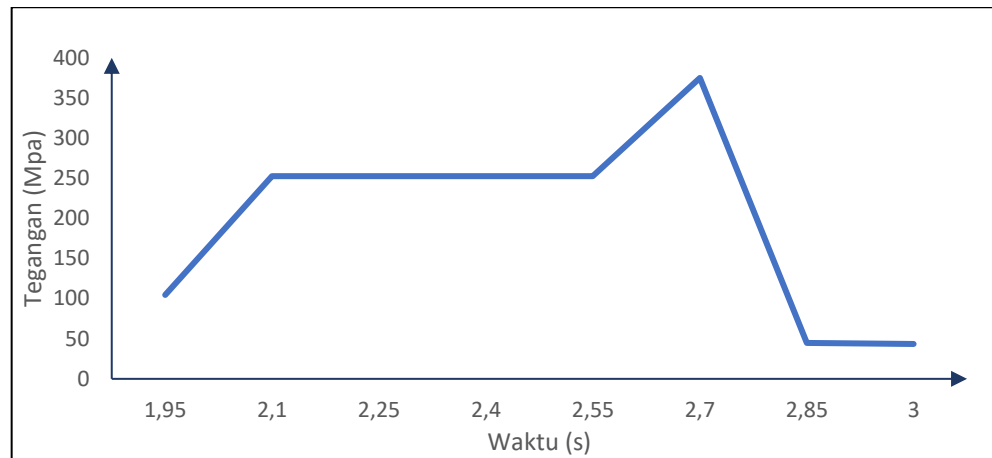
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2650,76 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 374,93 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 374,93 \text{ Mpa}$$

Jadi hasil perhitungan tegangan geser pada material Kuningan percobaan ke-10 sebesar 374,93 Mpa.



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

Tabel 4. 1 Nilai gaya kuningan oleh load cell

Percobaan Ke-	Gaya (Kg)
1	270,19
2	269,99
3	269,81
4	269,79
5	270,23
6	269,91
7	269,97
8	270,12
9	268,93
10	270,21
Rata-Rata	269,15

Tabel 4. 2 Nilai tegangan kuningan

Percobaan Ke-	Tegangan Geser (MPa)
1	374,9
2	374,63
3	374,38
4	374,35
5	374,96
6	374,51
7	374,6
8	374,81
9	374,15
10	374,93
Rata-Rata	374,52

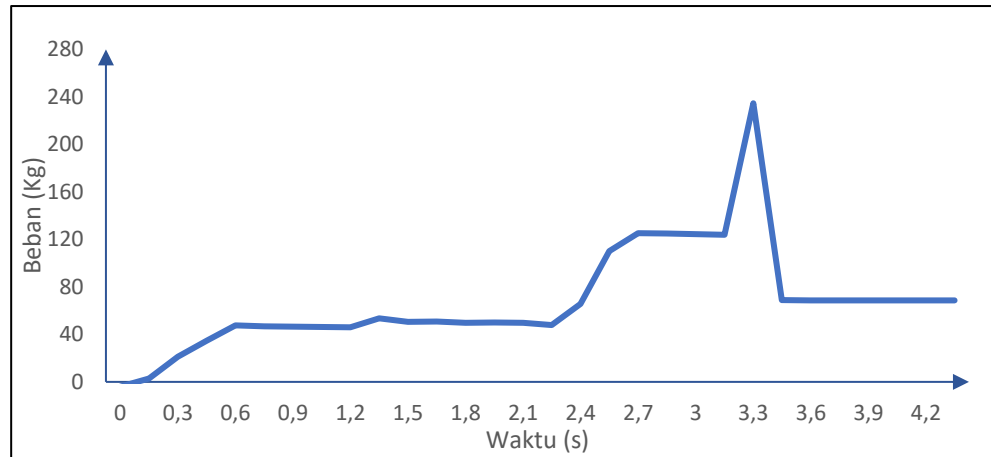
Pada material Kuningan sebelum diberikan perlakuan panas, diperoleh rata-rata tegangan geser sebesar 374,52 MPa dengan standar deviasi $\pm 0,27$ MPa. Hal ini menunjukkan adanya variasi data antar percobaan yang relatif moderat.

4.3 Pengaruh Perlakuan Panas Pada Material Uji

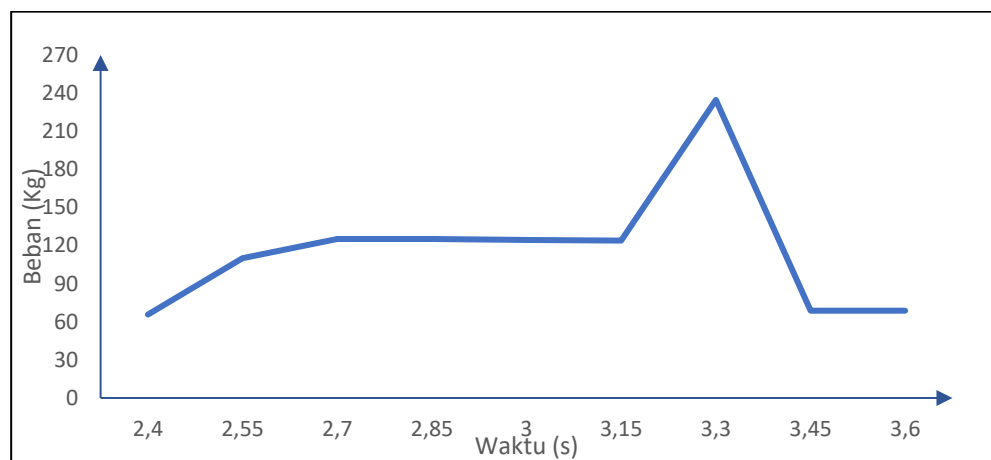
Perlakuan panas merupakan salah satu metode yang dapat memengaruhi sifat mekanik suatu material, termasuk kekuatan dan ketahanan terhadap beban. Pada pengujian ini, material uji dipanaskan terlebih dahulu pada suhu sekitar 300°C sebelum dilakukan pengujian geser. Perlakuan panas yang dilakukan pada uji kali ini adalah *annealing*, dengan media pendinginan lambat yaitu dengan dibiarkan dalam suhu ruang. Perlakuan panas ini tujuannya untuk mengetahui bagaimana perlakuan panas tersebut memengaruhi kemampuan material dalam menahan gaya geser.

4.3.1 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-1

Merujuk pada Gambar 4.32 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 4.33 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 2,4 – 3,6 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,63 kg pada waktu 3,3 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.33, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,63 \text{ kg}$$

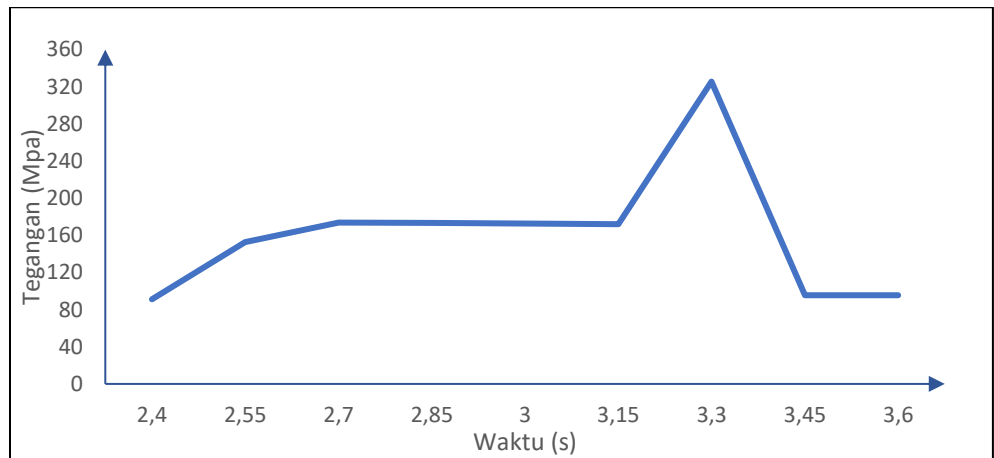
$$F = 2301,72 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2301,72 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,56 \text{ N/mm}^2$$

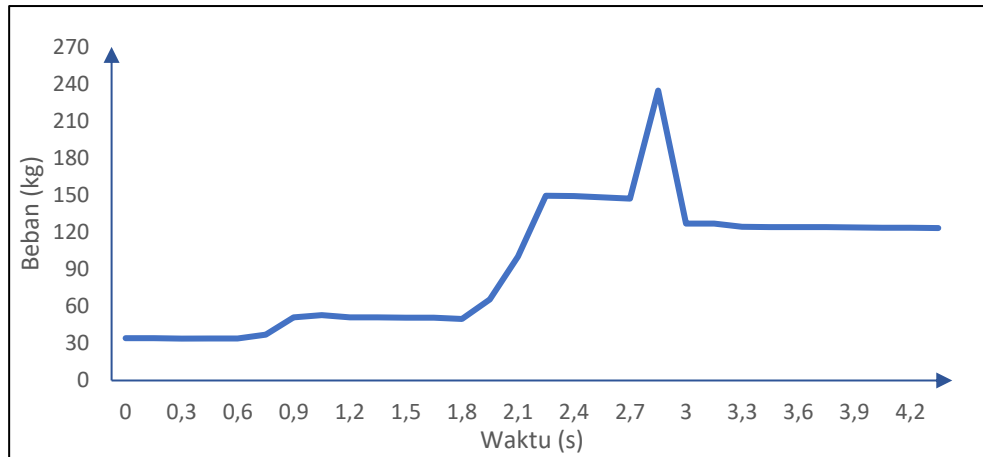
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-1 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,63 kg dan tegangan geser sebesar 325,56 N/mm².



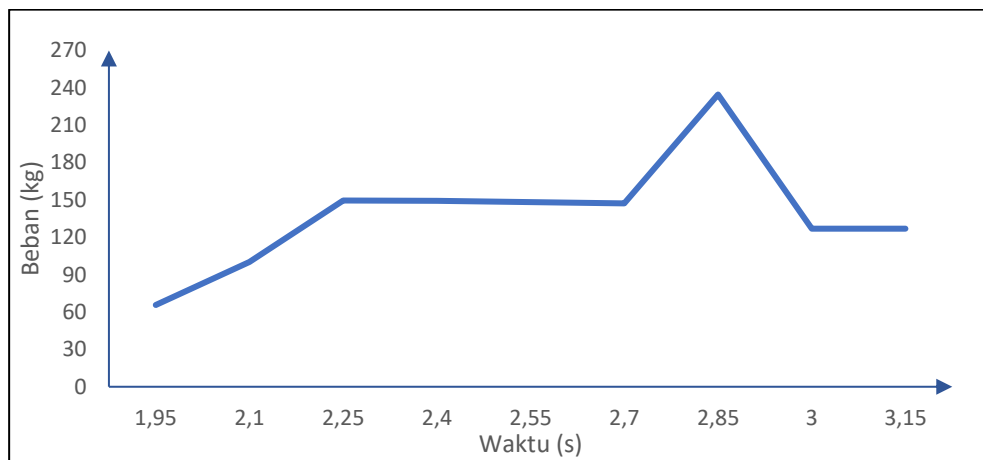
Gambar 4. 34 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-1 setelah perlakuan panas

4.3.2 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-2

Merujuk pada Gambar 4.35 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 4.36 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,95 – 3,15 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,65 kg pada waktu 2,85 detik.



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



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

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

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

$$F = 234,65 \text{ kg}$$

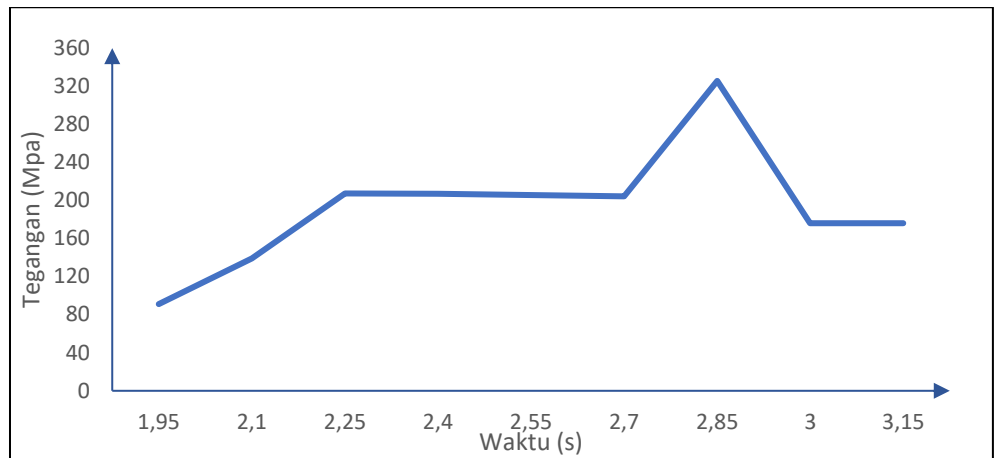
$$F = 2301,92 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2301,92 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,59 \text{ N/mm}^2$$

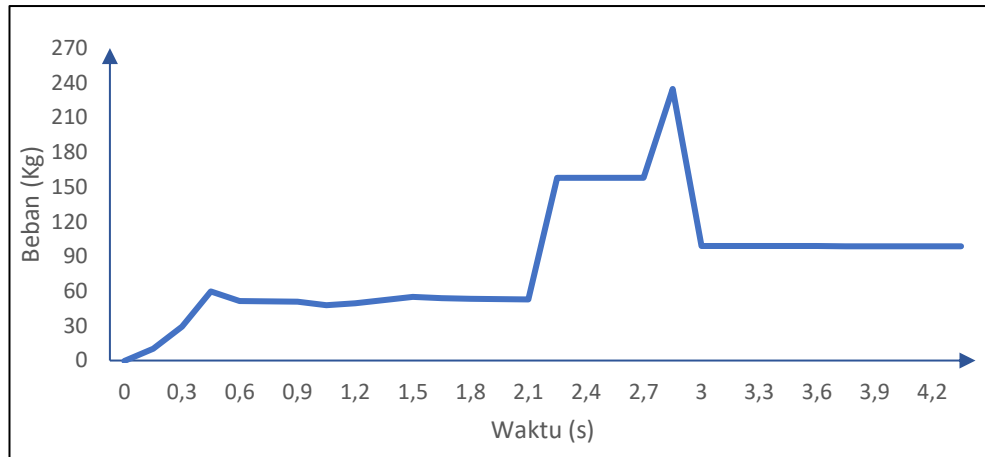
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-2 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,65 kg dan tegangan geser sebesar 325,59 N/mm².



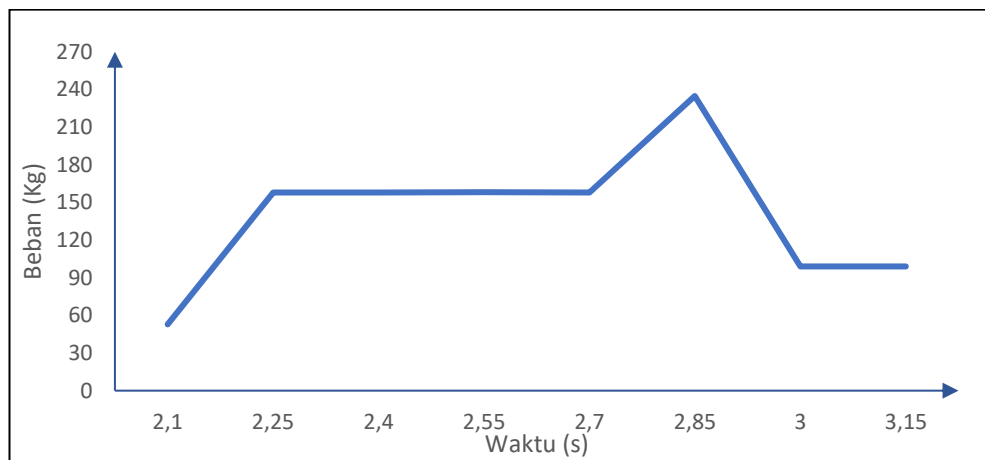
Gambar 4. 37 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-2 setelah perlakuan panas

4.3.3 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-3

Merujuk pada Gambar 4.35 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 4.36 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 1,95 – 3,15 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,69 kg pada waktu 2,85 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.39, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,69 \text{ kg}$$

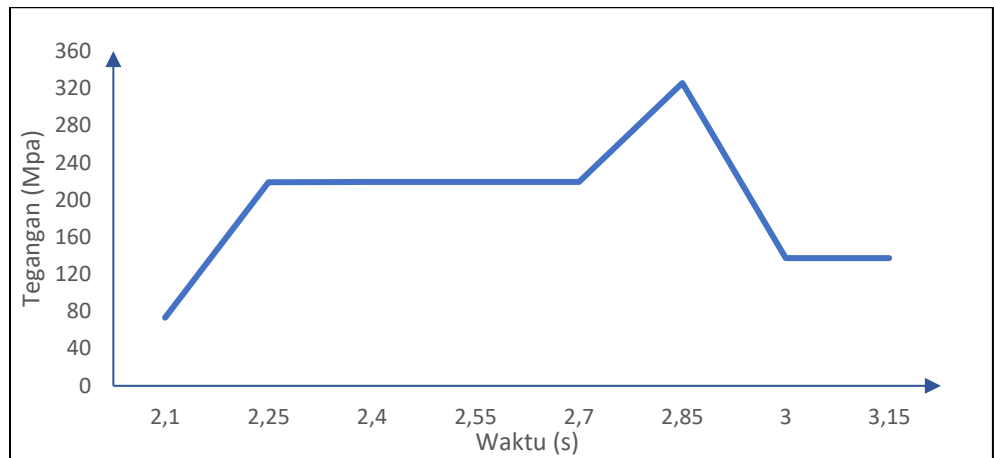
$$F = 2302,31 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2302,31 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,64 \text{ N/mm}^2$$

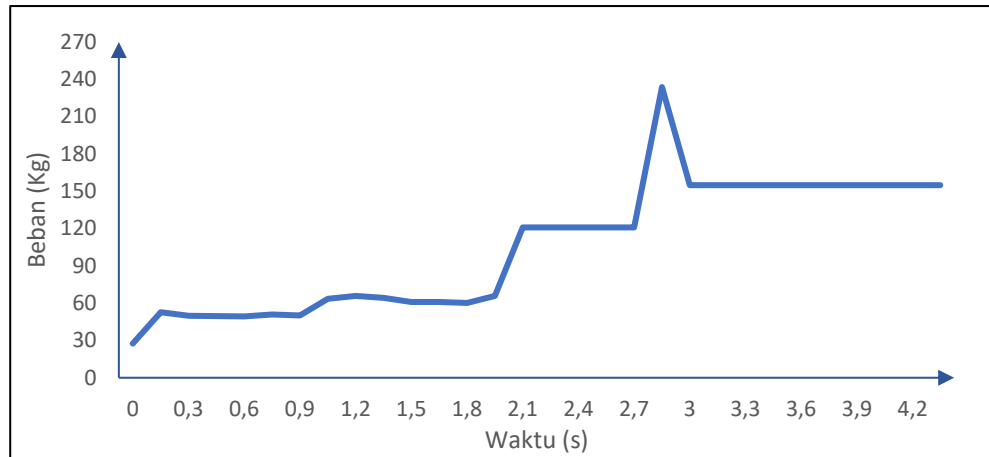
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-3 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,69 kg dan tegangan geser sebesar 325,64 N/mm².



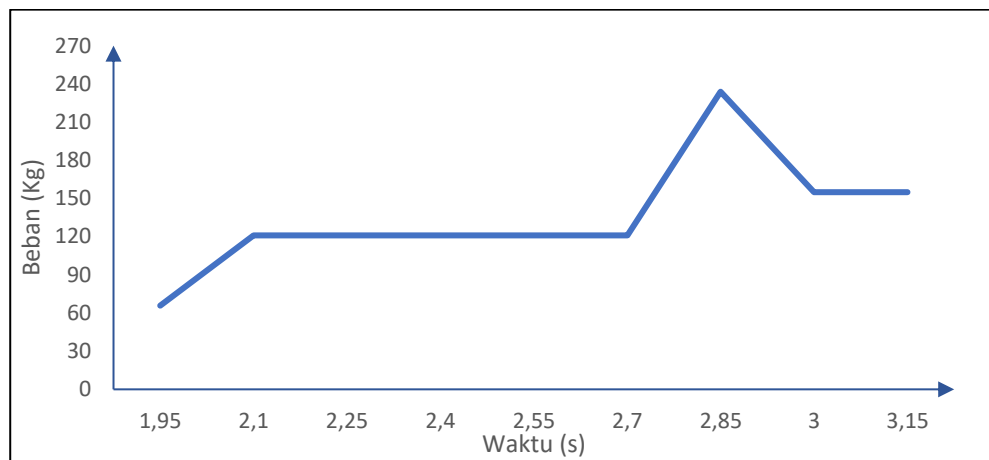
Gambar 4. 40 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-3 setelah perlakuan panas

4.3.4 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-4

Merujuk pada Gambar 4.41 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 1,95 – 3,15 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 233,78 kg pada waktu 2,85 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.42, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 233,78 \text{ kg}$$

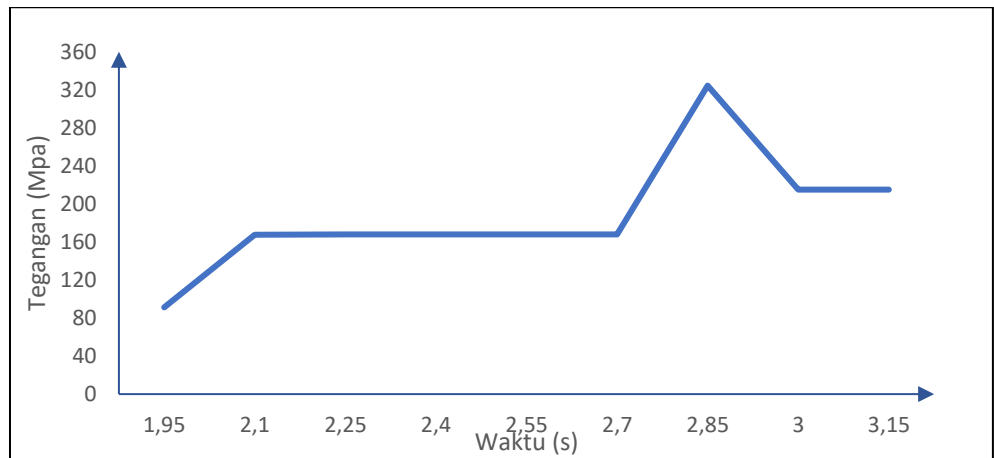
$$F = 2293,38 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2293,38 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 324,38 \text{ N/mm}^2$$

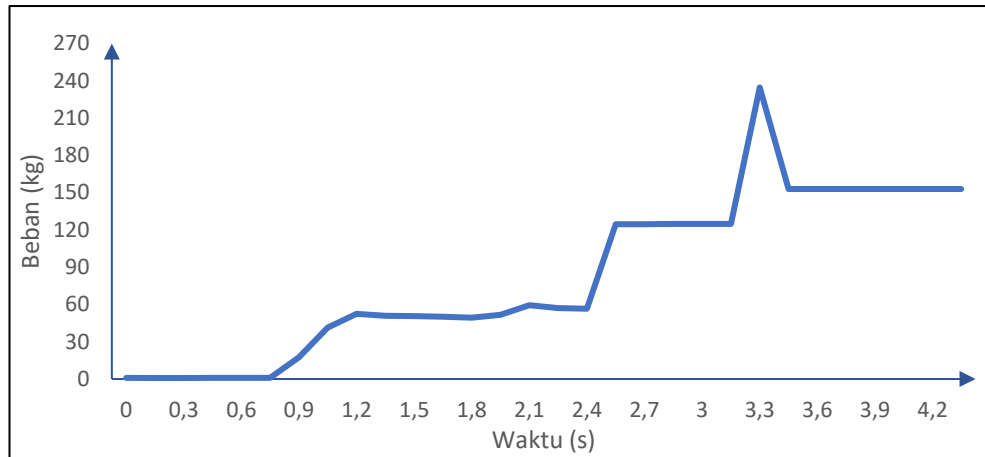
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-4 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 233,78 Kg dan tegangan geser sebesar 324,38 N/mm².



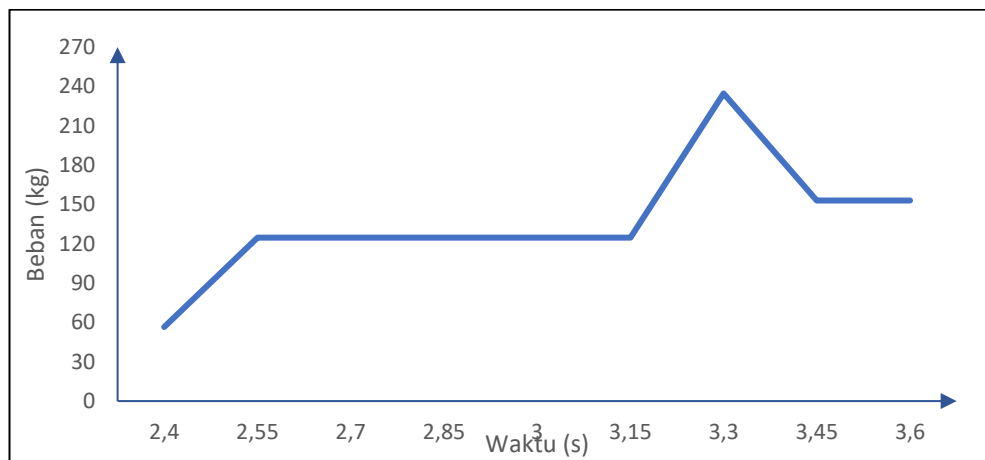
Gambar 4. 43 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-4 setelah perlakuan panas

4.3.5 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-5

Merujuk pada Gambar 4.44 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 2,4 – 3,6 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,67 kg pada waktu 3,3 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.45, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,67 \text{ kg}$$

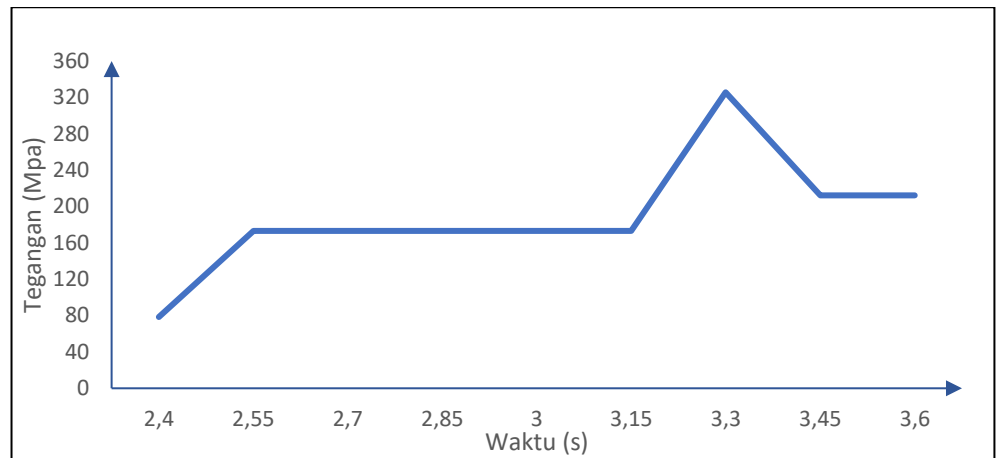
$$F = 2302,11 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2302,11 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,62 \text{ N/mm}^2$$

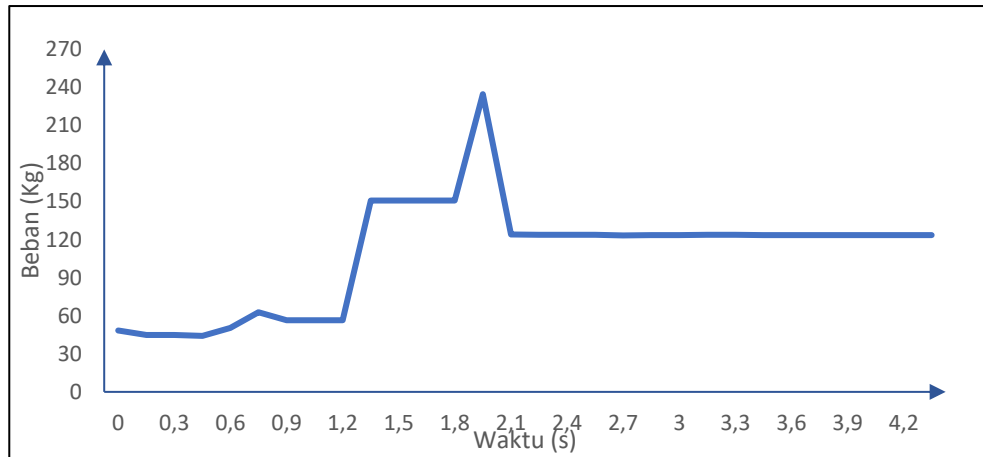
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-5 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,67 Kg dan tegangan geser sebesar 325,62 N/mm²



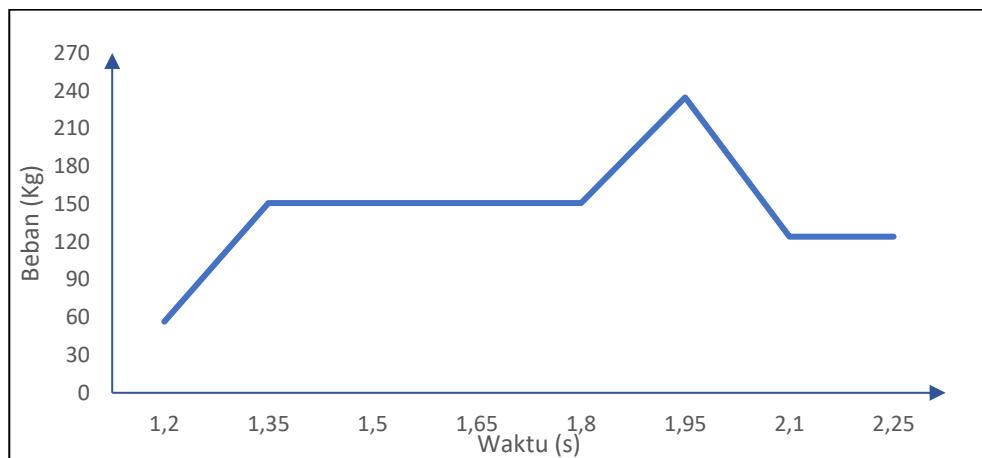
Gambar 4. 46 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-5 setelah perlakuan panas

4.3.6 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-6

Merujuk pada Gambar 4.47 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 1,2 – 2,25 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,7 kg pada waktu 1,95 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.48, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,7 \text{ kg}$$

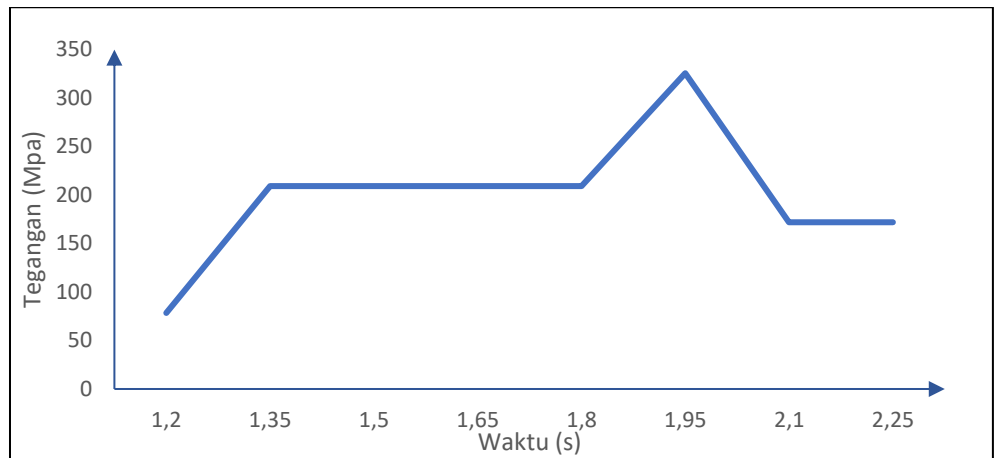
$$F = 2302,41 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2302,41 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,66 \text{ N/mm}^2$$

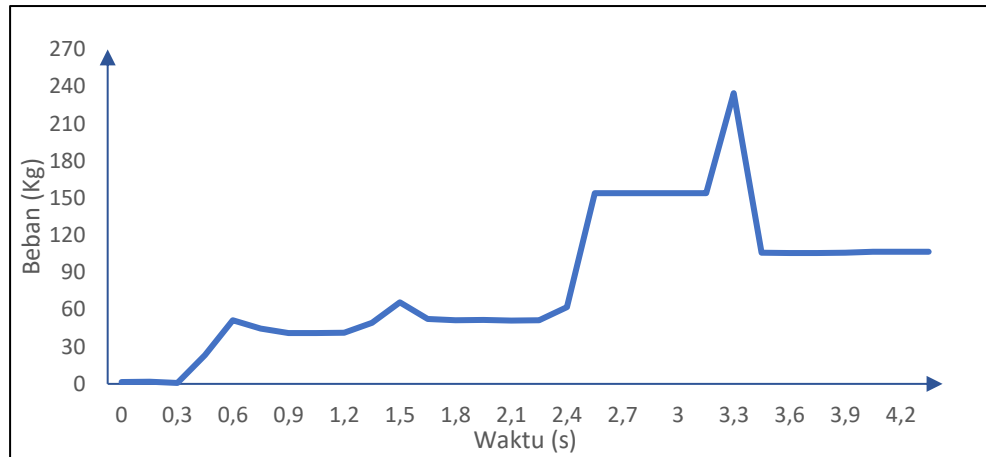
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-6 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,7 Kg dan tegangan geser sebesar 325,66 N/mm².



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

4.3.7 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-7

Merujuk pada Gambar 4.50 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 2,4 – 3,6 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,68 kg pada waktu 3,3 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.51, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,68 \text{ kg}$$

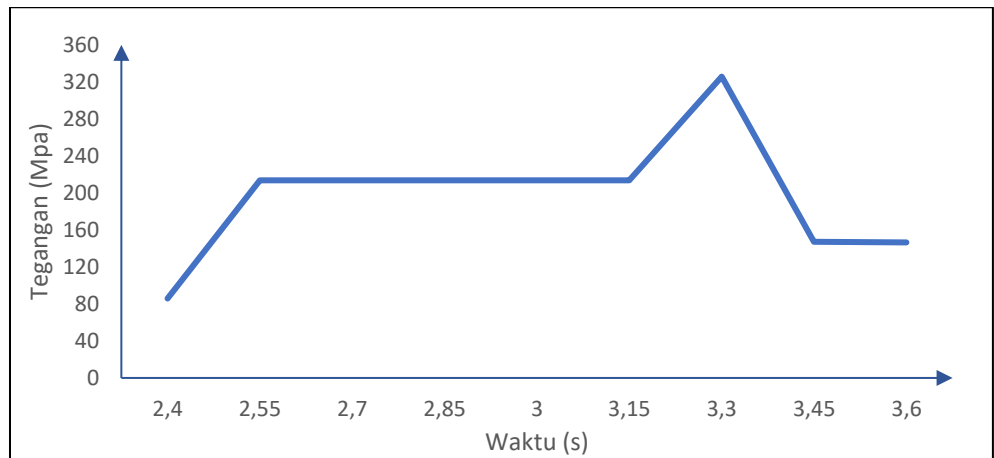
$$F = 2302,21 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2302,21 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,63 \text{ N/mm}^2$$

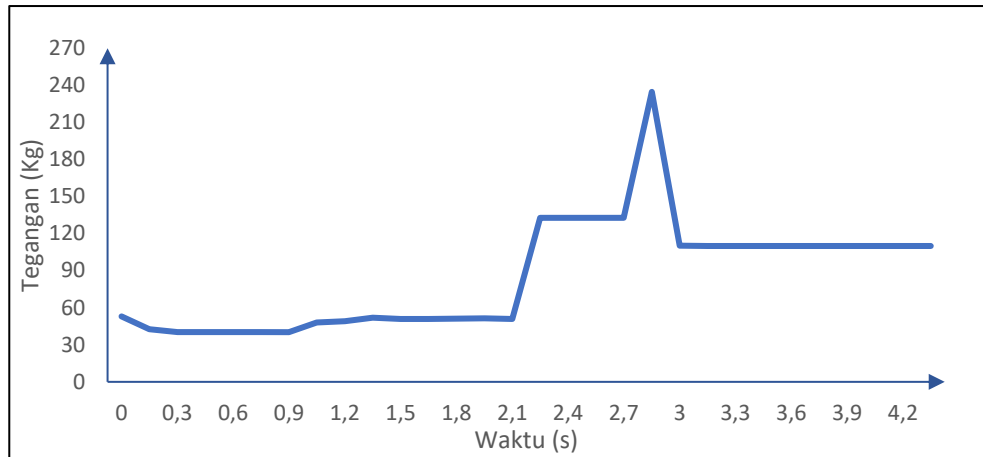
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-7 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,68 Kg dan tegangan geser sebesar 325,63N/mm².



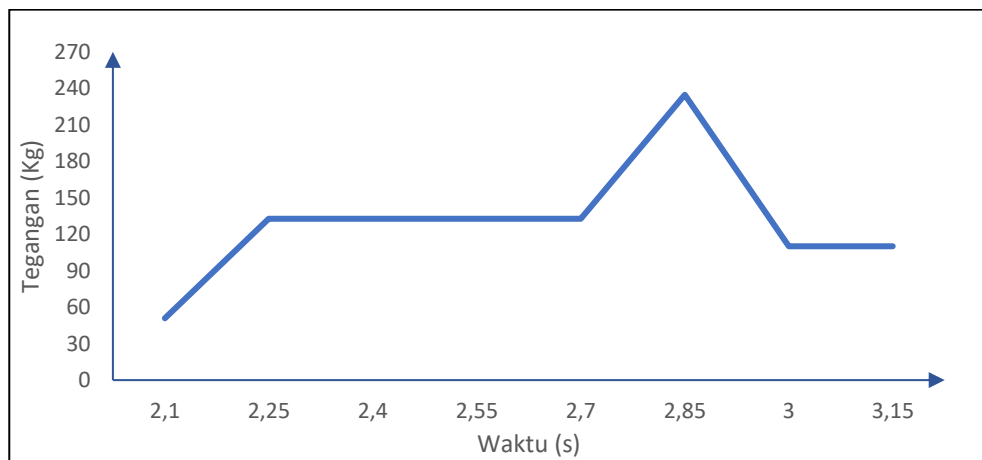
Gambar 4. 52 Distribusi aktual tegangan uji geserke-7 setelah perlakuan panas

4.3.8 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-8

Merujuk pada Gambar 4.53 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 2,1 – 3,15 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,71 kg pada waktu 2,85 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.54, maka nilai tegangan gesernya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,71 \text{ kg}$$

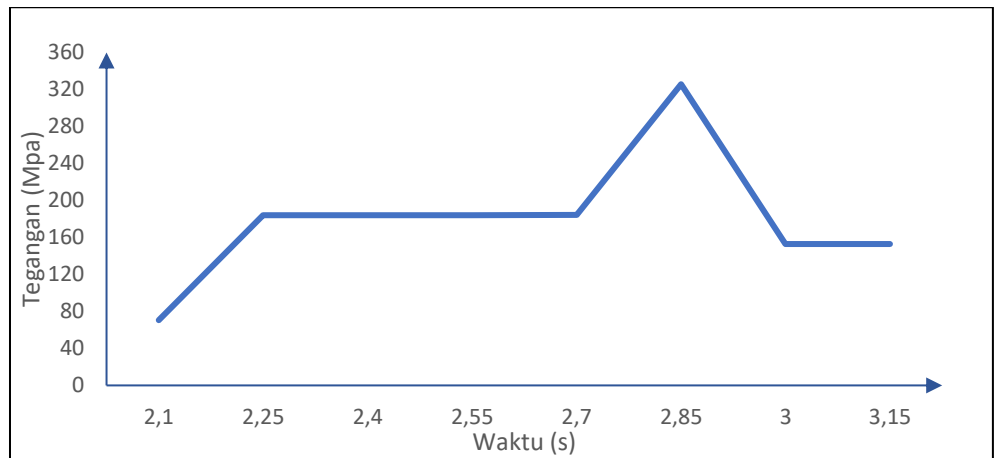
$$F = 2302,51 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2302,51 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,67 \text{ N/mm}^2$$

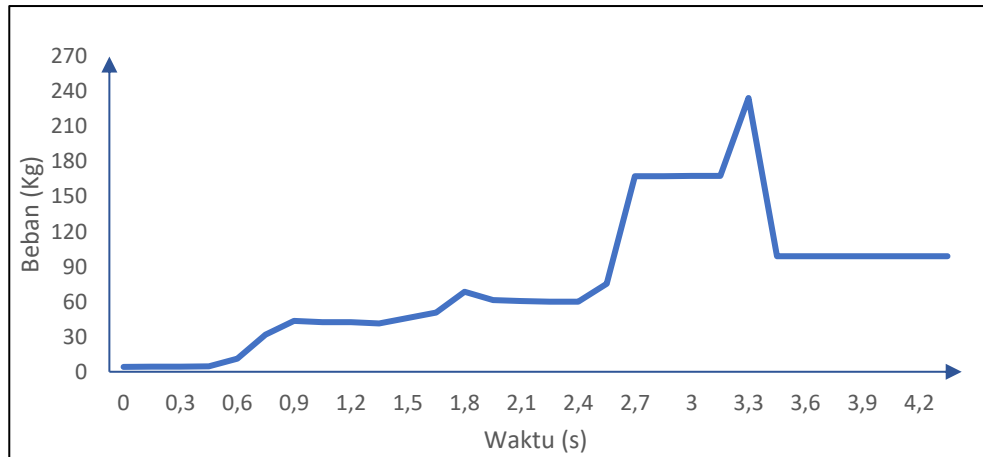
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-8 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,71 Kg dan tegangan geser sebesar 325,67 N/mm².



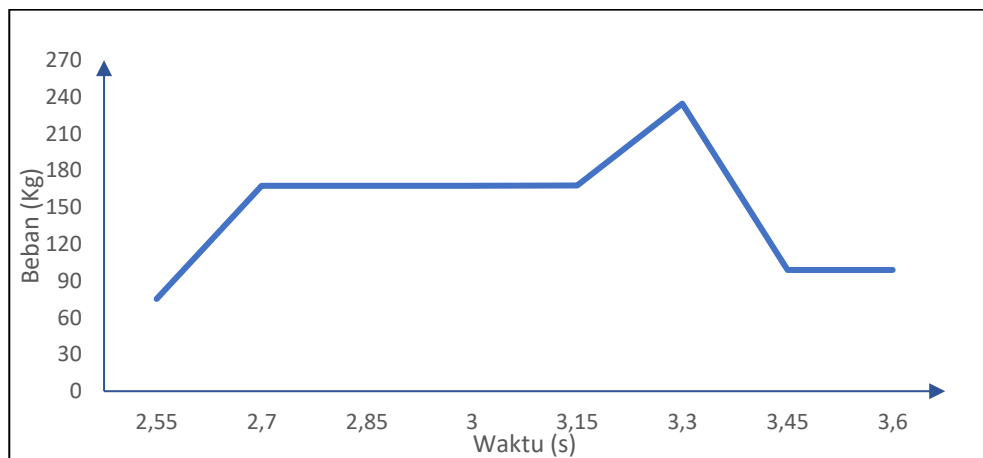
Gambar 4. 55 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-8 setelah perlakuan panas

4.3.9 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-9

Merujuk pada Gambar 4.56 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 2,55 – 3,6 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 234,51 kg pada waktu 3,3 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.57, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 234,51 \text{ kg}$$

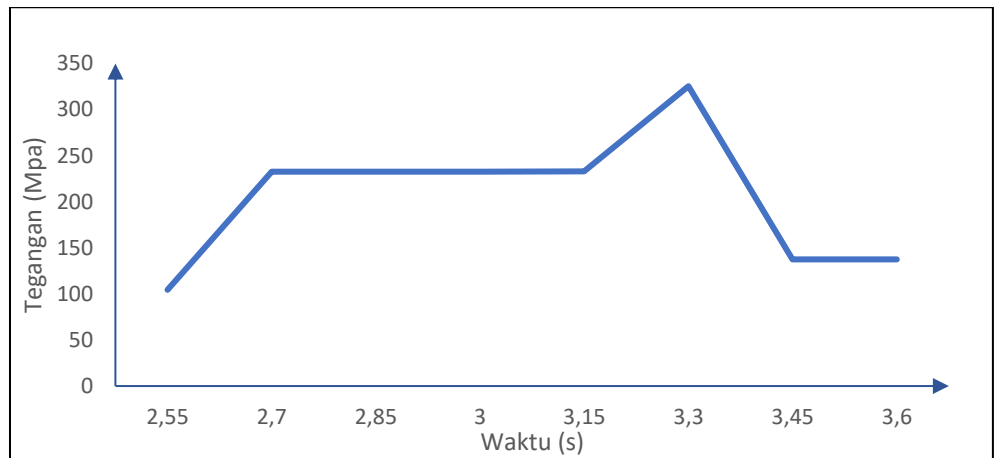
$$F = 2300,54 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2300,54 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 325,4 \text{ N/mm}^2$$

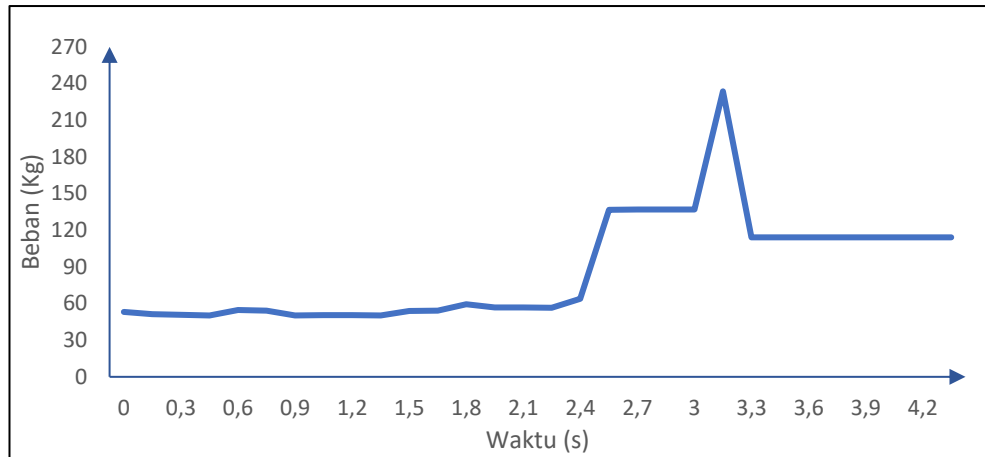
Pada pengujian bahan uji percobaan ke-9 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 234,51 Kg dan tegangan geser sebesar 325,4 N/mm².



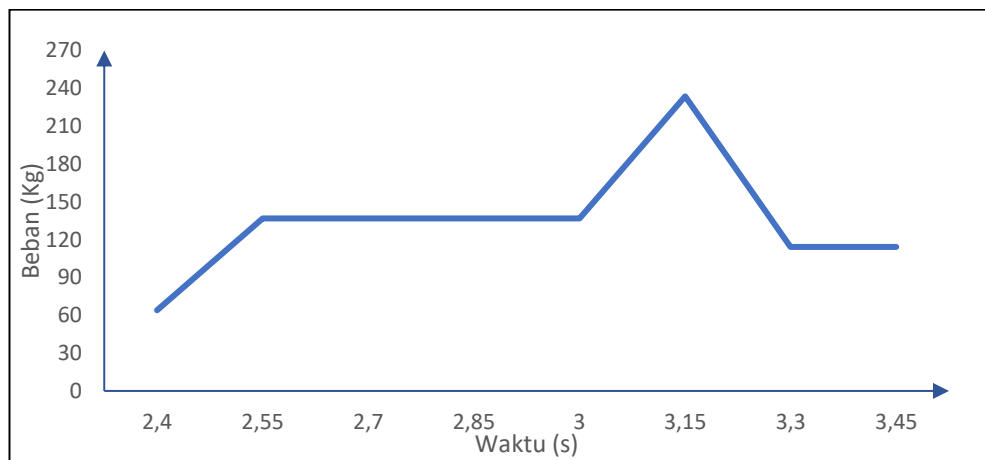
Gambar 4. 58 Distribusi aktual tegangan uji geser ke-9 setelah perlakuan panas

4.3.10 Hasil Pengujian pada Bahan Uji Percobaan ke-10

Merujuk pada Gambar 4.59 ditunjukkan distribusi beban setelah mendapat perlakuan panas 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 4.60 menampilkan distribusi aktual beban pada rentang waktu 2,4 – 3,45 detik ketika proses geser terjadi secara signifikan. Pada rentang tersebut, beban maksimum tercatat sebesar 233,61 kg pada waktu 3,15 detik.



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



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

Merujuk pada gambar 4.60, maka nilai tegangan gesernya dapat

diperhitungkan sebagai berikut :

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

$$F = 233,61 \text{ kg}$$

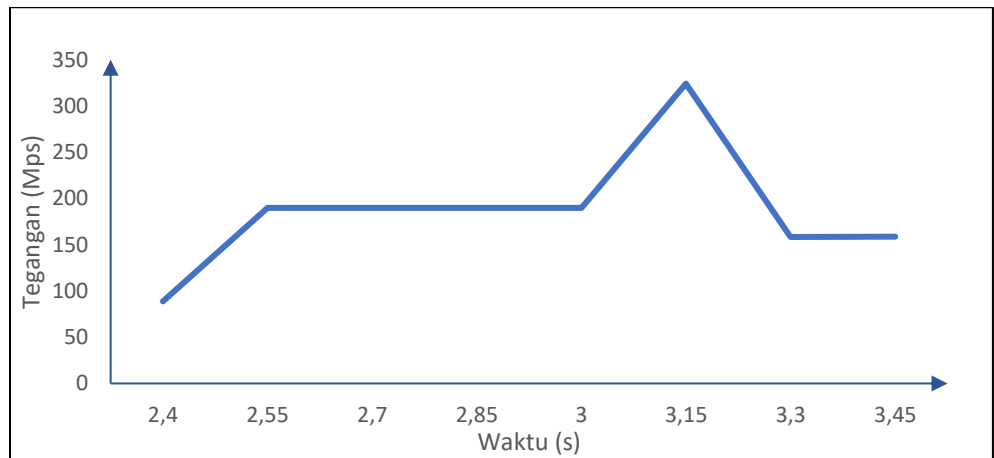
$$F = 2291,71 \text{ N}$$

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

$$\tau = \frac{2291,71 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 324,15 \text{ N/mm}^2$$

Pada pengujian bahan uji percobaan ke-10 gaya yang tercatat pada *load cell* sebesar 233,61 Kg dan tegangan geser sebesar 324,15 N/mm².



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

Tabel 4. 3 Nilai gaya kuningan yang sudah dipanaskan

Percobaan Ke-	Gaya (Kg)
1	234,63
2	234,65
3	234,69
4	233,78
5	234,67
6	234,7
7	234,68
8	234,71
9	234,51
10	233,61
Rata-Rata	234,46

Tabel 4. 4 Nilai tegangan geser kuningan yang sudah dipanaskan

Percobaan Ke-	Tegangan Geser (MPa)
1	325,56
2	325,59
3	325,64
4	324,38
5	325,62
6	325,66
7	325,63
8	325,67
9	325,4
10	324,15
Rata-Rata	325,33

Pada material Kuningan sebelum diberikan perlakuan panas, diperoleh rata-rata tegangan geser sebesar 325,33 MPa dengan standar deviasi $\pm 0,56$ MPa. Hal ini menunjukkan adanya variasi data antar percobaan yang relatif moderat.

4.4 Perbandingan Hasil Uji Tegangan Geser Material

Pengujian dilakukan terhadap material Kuningan dalam dua kondisi, yaitu **tanpa perlakuan panas (kondisi awal)** dan **setelah diberi perlakuan panas pada suhu 300°C**. Perlakuan panas ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kekuatan geser material tersebut. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan menggunakan alat uji geser berbasis sistem hidrolik dan Arduino, diperoleh nilai tegangan geser rata-rata sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Rata-rata tegangan geser

Kuningan	Nilai Rata-rata Tegangan Geser (MPa)
Normal atau belum diberikan perlakuan	374,52
Dipanaskan sampai suhu 300°C	325,33

Dari data di atas, menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan geser sekitar 13,13% setelah perlakuan panas pada suhu antara 300°C. Penurunan ini menunjukkan bahwa pemanasan mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik material, terutama pada paduan kuningan (Cu-30Zn)..

Berdasarkan penelitian oleh Arroyyan, dkk. Perlakuan panas dengan metode *annealing* secara signifikan memengaruhi kekerasan dan struktur mikro paduan kuningan (Cu-30Zn). Penelitian ini menunjukkan adanya penurunan kekerasan secara konsisten seiring kenaikan temperatur, dari 101,92 HV pada material awal (*raw material*) menjadi 88,48 HV pada suhu 300°C, artinya kekerasan berkurang sebanyak 13,2% . Penurunan ini disebabkan oleh proses rekristalisasi yang terjadi

selama pemanasan, yang membuat logam menjadi lebih lunak, lemah, dan ulet. Selain itu, perubahan juga teramati pada struktur mikro permukaan, di mana pada suhu 300°C muncul fenomena segregasi dan porositas kecil (*small porosity*). Maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas pada suhu 300°C sudah efektif untuk menurunkan kekerasan dan mengubah morfologi permukaan kuningan, dengan proses pelunakan yang terus berlanjut pada temperatur yang lebih tinggi.