

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

Pada sub bab 4.1 tentang penyajian data ini berisikan hasil pengujian uji agregat dari agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan sesuai standar yang telah ditetapkan.

4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Jaya Beton Indonesia dan dipasok dari Daerah Sudamanik. Pengujian agregat kasar dilakukan di Laboratorium PT. Jaya Beton Indonesia sesuai dengan standar yang berlaku.

4.1.1.1. Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-1969-2008 mengenai pengujian berat jenis dan daya penyerapan air agregat kasar. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian tersebut.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|--|--------|------|---------|
| 1. | Berat keranjang (A) | gr | 527 | 527 |
| 2. | Berat sampel dan keranjang (B) | gr | 2527 | 2527 |
| 3. | Berat sampel (C=B-A) | gr | 2000 | 2000 |
| 4. | Berat keranjang dalam air (D) | gr | 270 | 270 |
| 5. | Berat sampel dan keranjang dalam air (E) | gr | 1482 | 1476,60 |
| 6. | Berat sampel dalam air (F=E-D) | gr | 1212 | 1206,60 |
| 7. | Berat jenis ($G=C/(C-F)$) | | 2,54 | 2,52 |
| 8. | Selisih | | | 0,02 |
| 9. | Rata - rata | | | 2,53 |

Rata-rata berat jenis agregat kasar yang didapatkan adalah 2,53. Berdasarkan ketentuan SNI 03-1969-2008, berat jenis bulk atau curah agregat minimal harus mencapai 2,5 gram. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sampel yang diuji memenuhi standar yang ditetapkan.

4.1.1.2. Hasil Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-1969-2008 mengenai pengujian berat jenis dan daya penyerapan air agregat kasar. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian tersebut.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Daya Serap Air

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|----------------------------|--------|--------|--------|
| 1. | Berat pan (A) | gr | 1286 | 1252 |
| 2. | Berat sampel dan pan (B) | gr | 3286 | 3252 |
| 3. | Berat Sampel (C=B-A) | gr | 2000 | 2000 |
| 4. | Berat Sampel Kering (D) | gr | 1948,8 | 1947,8 |
| 5. | Daya Serap air (E=(C-D)/D) | % | 2,63 | 2,68 |
| 6. | Selisih | | | 0,05 |
| 7. | Rata-rata | | | 2,65 |

Rata-rata daya serap agregat kasar dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga kering permukaan adalah sebesar 2,65 %. Daya serap agregat kasar telah memenuhi persyaratan SNI 03-1969-2008, karena persentase daya serap tidak melebihi batas maksimum yang ditetapkan, yaitu 3%.

4.1.1.3. Hasil Pengujian Berat Isi

Pengujian densitas agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-4804-1998 mengenai pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian densitas tersebut.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Isi

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|--|---------------------|------|-------|
| 1. | Volume container (A) | cm ³ | 2002 | 2002 |
| 2. | Berat container (B) | gr | 787 | 787 |
| 3. | Berat sampel dan container (C) | gr | 3732 | 3639 |
| 4. | Berat sampel (D=C-B) | gr | 2945 | 2852 |
| 5. | Berat isi (E=D/A) | cm ³ /gr | 1,47 | 1,42 |
| 6. | Selisih | | | 0,05 |
| 7. | Rata - rata (F) | | | 1,45 |
| 8. | Berat jenis (G) | | | 2,53 |
| 9. | Persentase volume padat (H=(F/G)x100%) | | | 57,24 |

Rata-rata densitas atau berat isi agregat kasar yang didapatkan adalah 1,45 gr/ cm³. Nilai tersebut masih memenuhi persyaratan SNI 03-4804-1998, yaitu melebihi 1,4 gr/ cm³.

4.1.1.4. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-4142-1996 mengenai metode pengujian jumlah bahan dalam agregat. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian kadar lumpur.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|--|--------|--------|--------|
| 1. | Berat kering material sebelum dicuci (A) | gr | 2000 | 2000 |
| 2. | Berat kering material sesudah di cuci (B) | gr | 1985,8 | 1980,3 |
| 3. | Material lolos ayakan 0.074 mm ($C = ((A-B)/A) \times 100\%$) | % | 0,71 | 0,99 |
| 4. | Selisih | | | 0,28 |
| 5. | Rata - rata | | | 0,85 |

Rata-rata kadar lumpur yang didapatkan adalah 0,85. Nilai tersebut masih memenuhi batas yang ditetapkan oleh SNI 03-4142-1996, yaitu kurang dari 1.

4.1.1.5. Hasil Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-1990 mengenai analisis saringan agregat halus dan kasar. Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian analisis saringan.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Analisis Saringan

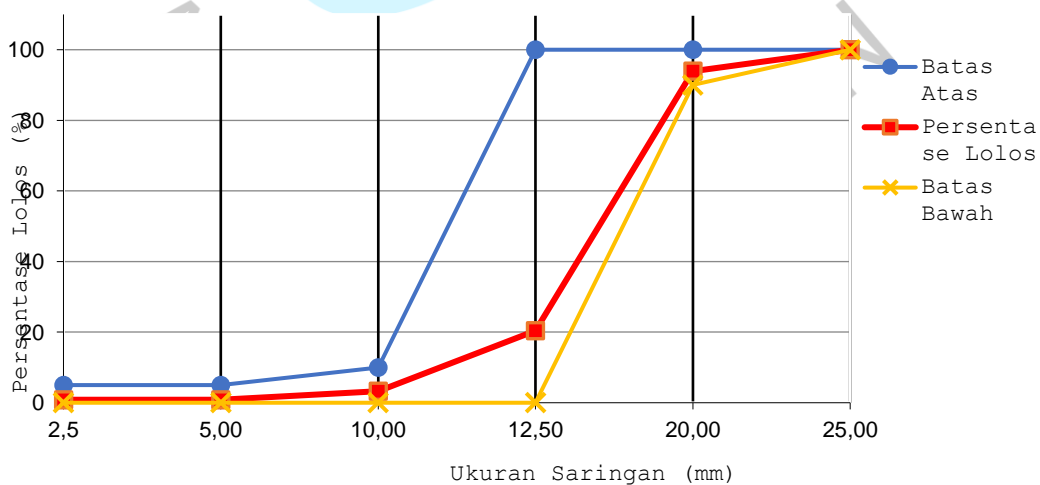
| Ukura n Ayak an | Test I | | Test II | | Rata- rata Persenta se Tertaha n | Kumulat if Persenta se Tertaha n | Kumulat if Persenta se Lolos | Spesifika si | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|---|--|-----------------|-----|
| | Berat Tertaha n | Persenta se Tertaha n | Berat Tertaha n | Persenta se Tertaha n | | | | Min | Max |
| (mm) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (%) | (%) | (%) | | |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 20 | 131,4 | 6,57 | 112 | 5,6 | 6,09 | 6,09 | 93,92 | 90 | 100 |
| 12,7 | 1511 | 75,55 | 1430 | 71,5 | 73,53 | 79,61 | 20,39 | 0 | 100 |
| 10 | 295,5 | 14,78 | 389 | 19,45 | 17,11 | 96,72 | 3,28 | 0 | 10 |

| Ukuran Ayakan | Test I | | Test II | | Rata-rata Persentase Tertahan | Kumulatif Persentase Tertahan | Kumulatif Persentase Lolos | Spesifikasi | |
|---------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------|---|
| | Berat Tertahan | Persentase Tertahan | Berat Tertahan | Persentase Tertahan | | | | | |
| 5 | 47,1 | 2,36 | 50 | 2,5 | 2,43 | 99,15 | 0,85 | 0 | 5 |
| 2,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 99,15 | 0,85 | 0 | 5 |
| 1,2 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 99,15 | 0,85 | | |
| 0,6 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 99,15 | 0,85 | | |
| 0,3 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 99,15 | 0,85 | | |
| 0,15 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 99,15 | 0,85 | | |
| Pan | 15 | 0,75 | 19 | 0,95 | 0,85 | 100 | 0 | | |
| Total | 2000 | | 2000 | | | | | | |
| FM | | | | | | | 7,77 | | |

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 7,77. Agregat kasar dengan modulus kehalusan tersebut dianggap kurang baik karena belum sesuai dengan persyaratan SK SNI S-04-1989 F, yang membutuhkan nilai modulus kehalusan antara 6,0 hingga 7,1. Oleh karena itu, di buatlah grafik gradasi analisis saringan agregat kasar berdasarkan pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 4. 6 Persentase Lolos Kumulatif dari Hasil Pengujian Analisis Saringan

| Ukuran Saringan (mm) | 2,5 | 5 | 10 | 12,5 | 20 | 25 |
|----------------------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| Batas Atas | 5 | 5 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| Persentase Lolos | 0,8 | 0,8 | 3,3 | 20,4 | 93,9 | 100,0 |
| Batas Bawah | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 100 |



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa gradasi agregat kasar memenuhi persyaratan, karena garis persentase agregat kasar yang lolos (garis merah) berada di bawah garis batas bawah (garis kuning).

4.1.1.6. Hasil Pengujian Keausan Agregat

Pengujian keausan agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 2417-2008 mengenai uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian keausan agregat kasar.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

| Ukuran saringan (mm) | | Sampel I | Sampel II |
|--|----------|------------|------------|
| Lolos | Tertahan | Berat (gr) | Berat (gr) |
| 76,2 | 63,5 | 0 | 0 |
| 63,5 | 50,8 | 0 | 0 |
| 50,8 | 36,1 | 0 | 0 |
| 36,1 | 25,4 | 0 | 0 |
| 25,4 | 19,1 | 0 | 0 |
| 19,1 | 12,7 | 2500 | 2500 |
| 12,7 | 9,52 | 2500 | 2500 |
| 9,52 | 6,35 | 0 | 0 |
| 6,35 | 4,75 | 0 | 0 |
| 4,75 | 2,36 | 0 | 0 |
| Jumlah Putaran | | 500 | 500 |
| Jumlah Bola Baja | | 11 | 11 |
| Jumlah Berat (gram) (a) | | 5000 | 5000 |
| Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b) | | 3985 | 4123 |
| Keausan (%) = $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$ | | 20,3 | 17,54 |
| Selisih sampel I & II | | | 2,76 |
| Rata-rata Keausan (%) | | | 18,92 |

Rata-rata keausan agregat yang didapatkan adalah 18,92%. Agregat tersebut dapat digunakan untuk konstruksi karena hasil rata-rata masih memenuhi ketentuan SNI 2417-2008, yaitu keausan agregat di bawah 40%.

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Jaya Beton Indonesia dan dipasok dari Daerah Sudamanik. Pengujian agregat kasar

dilakukan di Laboratorium PT. Jaya Beton Indonesia sesuai dengan standar yang berlaku.

4.1.2.1. Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan sesuai dengan SNI 3-1970-1990 mengenai pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian berat jenis agregat halus.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|----------------------------------|--------|-------|--------|
| 1. | Nomor flash | | 1 | 2 |
| 2. | Berat flash (A) | gr | 141 | 224 |
| 3. | Berat sampel dan flask (B) | gr | 641 | 724 |
| 4. | Berat sampel (C=B-A) | gr | 500 | 500 |
| 5. | Berat flask, sampel, dan air (D) | gr | 942,4 | 1027,2 |
| 6. | Berat air (E=D-B) | gr | 301,4 | 303,2 |
| 7. | Berat Jenis (F=C/(C-E)) | | 2,52 | 2,54 |
| 8. | Selisih | | | 0,02 |
| 9. | Rata - rata | | | 2,53 |

Rata-rata densitas agregat halus yang didapatkan adalah 2,53. Hasil tersebut masih memenuhi kategori yang ditetapkan oleh SNI 3-1970-1990, yaitu agregat halus dapat digunakan jika masih berada di atas batas yang diizinkan, yaitu di atas 2,5.

4.1.2.2. Hasil Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air agregat halus dilakukan sesuai dengan SNI 3-1970-1990 mengenai pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengujian daya serap air agregat halus.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Daya Serap Air

| No. | Percobaan | iSatuan | 1 | 2 |
|-----|----------------------------|---------|--------|-------|
| 1 | Berat pan (A) | gr | 1247,9 | 654 |
| 2 | Berat sampel dan pan (B) | gr | 2247,9 | 1654 |
| 3 | Berat sampel (C=B-A) | gr | 1000 | 1000 |
| 4 | Berat sampel kering (D) | gr | 973,2 | 972,7 |
| 5 | Daya serap air (E=(C-D)/D) | % | 2,75 | 2,81 |
| 6 | Selisih | | | 0,05 |
| 7 | Rata - rata | | | 2,78 |

Rata-rata kemampuan agregat halus dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai dengan kering permukaan adalah 2,78%. Daya serap agregat halus sudah memenuhi persyaratan SNI 3-1970-1990, karena persentase daya serap tidak melebihi batas maksimum, yaitu 3%.

4.1.2.3. Hasil Pengujian Berat Isi

Pengujian densitas atau berat isi agregat halus dilakukan sesuai dengan SNI 3-4804-1998 mengenai bobot isi dan rongga udara dalam agregat. Tabel 4.10 menunjukkan hasil pengujian densitas atau berat isi agregat halus.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|--|---------------------|------|-------|
| 1. | Volume container (A) | cm ³ | 2002 | 2002 |
| 2. | Berat container (B) | gr | 788 | 788 |
| 3. | Berat sampel dan container (C) | gr | 3759 | 3609 |
| 4. | Berat sampel (D=C-B) | gr | 2971 | 2821 |
| 5. | Berat isi (E=D/A) | cm ³ /gr | 1,48 | 1,41 |
| 6. | Selisih | | | 0,07 |
| 7. | Rata - rata | | | 1,45 |
| 8. | Berat Jenis (G) | | | 2,53 |
| 9. | Persentase volume padat (H=(F/G)x100%) | | | 57,20 |

Rata-rata densitas isi agregat halus yang didapatkan adalah 1,45 gr/ cm³. Nilai tersebut masih memenuhi persyaratan SNI 3-4804-1998, yaitu melebihi 1,4 gr/ cm³.

4.1.2.4. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Sesuai dengan SNI 03-4142-1996, jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no.200 (0,075mm), kadar lumpur agregat halus diuji. Tabel 4.11 menunjukkan hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kadar Lumpur

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|--|--------|-------|-------|
| 1. | Berat kering material sebelum dicuci (A) | gr | 1000 | 1000 |
| 2. | Berat kering material sesudah dicuci (B) | gr | 966,7 | 960,5 |
| 3. | Material lolos ayakan 0.074 mm (C=((A-B)/A)x100 %) | % | 3,33 | 3,95 |
| 4. | Selisih | | | 0,62 |

| No. | Percobaan | Satuan | 1 | 2 |
|-----|-------------|--------|---|------|
| 5. | Rata - rata | | | 3,64 |

Rata-rata kadar lumpur yang didapatkan adalah 3,64%. Nilai tersebut masih memenuhi batas yang ditetapkan oleh SNI 03-4142-1996, yaitu kurang dari 7%.

4.1.2.5. Hasil Pengujian Analisis Saringan

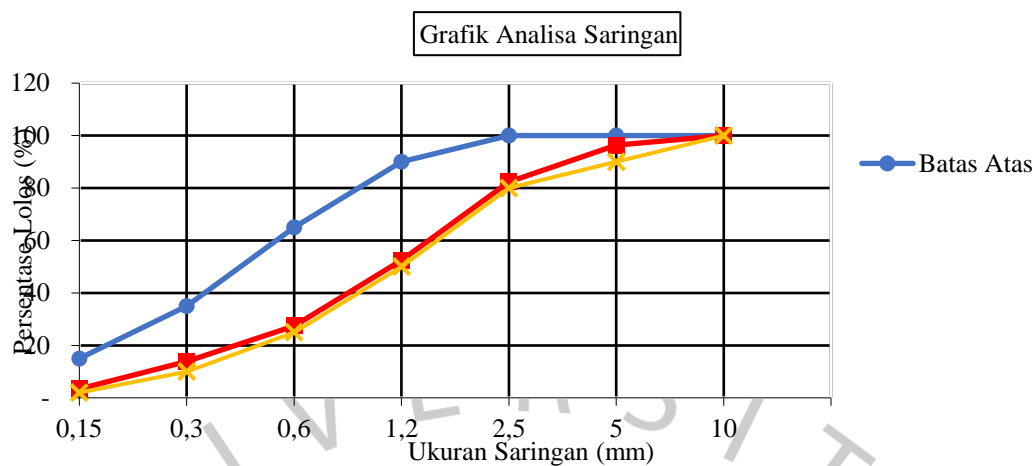
Pengujian saringan agregat halus dan kasar dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-2008 tentang pengujian saringan agregat halus dan kasar. Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengujian analisis saringan agregat halus.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

| Ukuran Ayakan (mm) | Percobaan 1 | | Percobaan 2 | | Rata-Rata Persentase Tertahan (%) | Kumulatif Persentase Tertahan (%) | Kumulatif Persentase Lolos (%) |
|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| | Berat Tertahan (gr) | Persentase Tertahan (%) | Berat Tertahan (gr) | Persentase Tertahan (%) | | | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 5 | 32 | 3,2 | 42 | 4,2 | 3,7 | 3,7 | 96,3 |
| 2,5 | 125 | 12,5 | 154 | 15,4 | 13,95 | 17,65 | 82,35 |
| 1,2 | 302 | 30,2 | 296 | 29,6 | 29,9 | 47,55 | 52,45 |
| 0,6 | 245 | 24,5 | 256 | 25,6 | 25,05 | 72,6 | 27,4 |
| 0,3 | 140 | 14,0 | 132 | 13,2 | 13,6 | 86,2 | 13,8 |
| 0,15 | 118 | 11,8 | 90 | 9 | 10,4 | 96,6 | 3,4 |
| Pan | 38 | 3,8 | 30 | 3 | 3,4 | 100 | 0 |
| Total | 1.000 | 100 | 1000 | 100 | | | |
| FM | | | | | | 3,24 | |

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 3,24. agregat halus dengan modulus kehalusan tersebut dianggap baik dan memenuhi persyaratan sebagai bahan konstruksi karena sudah sesuai dengan persyaratan SK SNI S-04-1989 F, yang membutuhkan nilai modulus kehalusan antara 1,5 hingga 3,8.

Tabel 4. 13 Persentase Lolos Kumulatif dari Hasil Pengujian Analisis Saringan



Gambar 4. 2 Grafik Analisis Saringan Agregat Halus

Grafik menunjukkan bahwa gradasi agregat halus memenuhi persyaratan, karena garis persentase agregat halus yang lolos (garis merah) berada di antara garis batas atas (garis biru) dan garis batas bawah (garis kuning).

4.1.3. Rekapitulasi Hasil pengujian

Hasil pengujian yang telah dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus menghasilkan rekapitulasi pengujian yang disajikan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Hasil Pengujian

| Rekapitulasi Agregat Kasar | | | | |
|----------------------------|-----------------|------------------|------------|-------|
| No. | Percobaan | SNI | Standar | Hasil |
| 1 | Berat Jenis | 03-1969-2008 | $\geq 2,5$ | 2,53 |
| 2 | Berat Isi | 03-4804-1998 | $\geq 1,4$ | 1,45 |
| 3 | Kadar Lumpur | 03-4142-1996 | $\leq 1,0$ | 0,85 |
| 4 | Daya Serap | 03-1996-2008 | $\leq 3,0$ | 2,65 |
| 5 | Keausan Agregat | 2417-2008 | ≤ 40 | 18,92 |
| 6 | Modulus Halus | SK SNI-04-1989-F | 6,0-7,1 | 7,77 |
| Rekapitulasi Agregat Halus | | | | |
| No. | Percobaan | SNI | Standar | Hasil |
| 1 | Berat Jenis | 03-1969-2008 | $\geq 2,5$ | 2,53 |
| 2 | Berat Isi | 03-4804-1998 | $\geq 1,4$ | 1,45 |
| 3 | Kadar Lumpur | 03-4142-1996 | $\leq ,0$ | 3,64 |
| 4 | Daya Serap | 03-1996-2008 | $\leq 3,0$ | 2,78 |
| 5 | Keausan Agregat | SK SNI-04-1989-F | 1,5-3,8 | 3,24 |

4.1.4. Pengujian terhadap *Fly Ash*

Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorecence (XRF) yang dilakukan di Pusat Riset Kimia, BRIN Puspitek Serpong, terungkap bahwa abu terbang dari PLTU Lontar yang diuji mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 dengan total sebesar 81,8%. Hal ini menunjukkan bahwa abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai abu terbang kelas F sesuai dengan ASTM C 618, karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ melebihi 70%.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Pengujian *Fly Ash*

| Name | Value | Name | Value |
|-------------------------|--------|------|--------|
| SiO_2 | 41,40% | Si | 19,30% |
| Al_2O_3 | 22,70% | Fe | 12,40% |
| Fe_2O_3 | 17,70% | Al | 12,00% |
| CaO | 8,70% | Ca | 6,20% |
| MgO | 4,50% | Mg | 2,70% |
| Na_2O | 1,10% | Na | 0,80% |
| SO_3 | 1,00% | K | 0,60% |
| TiO_2 | 1,00% | Ti | 0,60% |
| K_2O | 0,70% | S | 0,40% |
| P_2O_5 | 0,40% | Mn | 0,20% |
| MnO | 0,30% | P | 0,20% |
| Cl | 0,10% | Cl | 0,10% |
| SrO | 0,10% | Sr | 0,10% |

4.1.5. Perancangan Campuran

4.1.5.1. Perancangan Campuran Beton Normal

Tabel 4.16 menampilkan rangkuman perhitungan perancangan campuran beton normal sesuai dengan SNI 7657-2012 yang telah digunakan dalam penelitian ini dengan perencanaan f_c 35 Mpa.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Perancangan Campuran Beton Normal

| Komponen | Hasil | Unit |
|--------------------------------------|-------|------|
| Faktor air semen maksimum | 0,55 | |
| Jumlah semen minimum per m^3 beton | 325 | kg |
| Standar deviasi | 7 | |
| Nilai tambah kuat tekan | 11,48 | MPa |
| f_{cr} | 46,48 | MPa |
| Nilai Slump | 30-60 | |

| Komponen | Hasil | Unit |
|-------------------------------------|---------|-------------------|
| Ukuran agregat maksimum | 20 | |
| Wh | 180 | |
| Wk | 210 | |
| Kadar air bebas | 190 | |
| faktor air semen | 0,44 | |
| Kadar semen | 431,81 | |
| BJ Agregat halus | 2,558 | |
| BJ Agregat kasar | 2,623 | |
| Persen agregat halus | 0,34 | |
| Persen agregat kasar | 0,66 | |
| BJ agregat gabungan halus dan kasar | 2,601 | |
| Kadar agregat gabungan | 1749,18 | kg/m ³ |
| Kadar agregat halus | 594,72 | kg/m ³ |
| Kadar agregat kasar | 1154,46 | kg/m ³ |
| Campuran Aktual | | |
| Komponen | Jumlah | Unit |
| Air | 182,11 | kg |
| Semen | 431,82 | kg |
| A. halus | 590,32 | kg |
| A. kasar | 1166,76 | kg |

4.1.5.2. Perancangan Campuran Beton Geopolimer

Tabel 4.16 menampilkan rangkuman perhitungan perancangan campuran beton normal sesuai dengan SNI 7657-2012 yang telah digunakan dalam penelitian ini dengan perencanaan f_c 35 Mpa.

Langkah 1 – Pergantian rasio semen dan air terhadap *fly ash* dan alkali activator

Setelah mendapatkan rasio perbandingan campuran dalam 1 m³ untuk beton normal, langkah awal dalam pembuatan beton geopolimer adalah mengubah rasio antara semen dan air menjadi rasio antara *fly ash* dan alkali aktivator.

Langkah 2 – Rasio *fly ash* dan alkali aktivator adalah 2 : 1

Rasio perbandingan antara alkali aktivator dan *fly ash* adalah 1:2, dan hasil perhitungannya dapat dilihat di bawah ini.

Tab 4. 17 Rekapitulasi Perbandingan Fly Ash dan Alkali Aktivator

| Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator dan <i>Fly Ash</i> | | | | |
|---|----------------|------------------|---------------|---------------|
| Berat total | <i>Fly Ash</i> | Alkali Aktivator | Agregat Kasar | Agregat Halus |
| 2404,80 | 431,82 | 215,91 | 1166,75 | 590,32 |

Langkah 3 – Rasio Sodium Silikat (*waterglass*) dan Sodium Hidroksida adalah 3 : 1

Setelah mendapatkan rasio alkali aktivator, langkah selanjutnya adalah membagi rasio alkali aktivator menjadi 1:3, dengan rasio 3 untuk sodium silikat dan 1 untuk sodium hidroksida, dan hasil perhitungannya sebagai berikut.

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida

| Hasil Perhitungan Rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida | | | | | |
|--|----------------|-------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Berat total | <i>Fly ash</i> | NAOH | NA ₂ SiO ₃ | Agregat Kasar | Agregat Halus |
| 2404,80 | 431,82 | 53,98 | 161,93 | 1166,75 | 590,32 |

Langkah 4 – Membuat Larutan Campuran NaOH

Dalam penelitian ini, digunakan molaritas NaOH 8 molar dengan kebutuhan NaOH dan air per 1000 gram sesuai dengan Tabel 4.19. Untuk mendapatkan hasil dari desain tersebut, perlu dilakukan perhitungan menggunakan rumus berikut.

a. $NaOH = \frac{SH\ Solids}{1000} \times NaOH \dots\dots\dots(4.1)$

b. $Air = \frac{Water}{1000} \times NaOH \dots\dots\dots(4.2)$

Tabel 4. 19 Kebutuhan Air dan NaOH per 1000 gram

| For Preparation 1 kg of SHS | | | |
|-----------------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| Molarity | SH Solids (Gram) | Water (Gram) | SHS (Gram) |
| 4 | 140 | 860 | 1000 |
| 6 | 200 | 800 | 1000 |
| 8 | 225 | 745 | 1000 |
| 12 | 354 | 646 | 1000 |
| 16 | 443 | 557 | 1000 |

Berikut ini merupakan ilustrasi perhitungan rasio antara air dan NaOH untuk molaritas 8 dengan merujuk pada tabel 4.19.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= 745 / 1000 \times \text{Kebutuhan NaOH} \\ &= 745 / 1000 \times 53,98 \end{aligned}$$

$$= 12,14 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kebutuhan NaOH} = 225 / 1000 \times \text{Kebutuhan NaOH}$$

$$= 225 / 1000 \times 53,98$$

$$= 40,21 \text{ kg/m}^3$$

Maka, tercatatlah ringkasan kebutuhan material beton geopolimer per 1 m³ dalam Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Rekapitulasi Beton Geopolimer 1 m³

| Rekapitulasi Beton Geopolimer per 1 m ³ (8 Molar) | | | | | | |
|--|----------------|----------------------------------|-------|-------|---------------|---------------|
| Berat total | <i>Fly ash</i> | Na ₂ SiO ₃ | NaOH | Air | Agregat Kasar | Agregat Halus |
| 2445,02 | 431,82 | 161,93 | 53,98 | 40,21 | 1166,75 | 590,32 |
| | | 8 Molar | 12,14 | | | |

Untuk kebutuhan material per cetakan, dihitung dengan menggunakan rumus silinder dengan tinggi 20 cm dan diameter 10 cm, seperti yang tertera dalam persamaan (4.3).

$$\text{Persamaan Cetakan} = 0,25 \times 3,14 \times 0,1^2 \times 0,2 \dots\dots\dots(4.3)$$

Dari rumus tersebut, didapatkan kebutuhan material per cetakan yang tercantum dalam Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Rekapitulasi kebutuhan Material Beton Geopolimer Per Cetakan

| Material | Kebutuhan Per Cetakan (Kg) |
|----------------------------------|----------------------------|
| Agregat Halus | 0,9268 |
| Agregat Kasar | 1,8318 |
| <i>Fly Ash</i> | 0,6780 |
| Na ₂ SiO ₃ | 0,2542 |
| NaOH | 0,0210 |
| Air | 0,0631 |

Dari hasil rekapitulasi perancangan campuran beton geopolimer yang digunakan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan dalam kadar agregat, *fly ash*, dan Na₂SiO₃. Perbedaan terletak pada berat NaOH dan Air yang digunakan pada setiap variasi molaritas.

4.1.6. Perhitungan Serat

Serat baja digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap retak pada beton serta memiliki sifat mekanik. Sifat mekanik serat baja adalah sifat yang berkaitan dengan perilaku serat baja ketika dikenai gaya atau beban. Sifat mekanik serat baja meliputi kekuatan tarik, modulus

elastisitas, keuletan, dan ketahanan terhadap korosi. Serat baja dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam beton untuk meningkatkan sifat mekanik beton, seperti kekuatan tekan, kekuatan tarik lentur, dan keuletan (S. M. Al-Salem, 2019). Pada penelitian akan menjelaskan rumus pada persamaan 4.4 yang diperlukan untuk menghitung kebutuhan serat baja. Gambar 4.3 merupakan serat baja yang digunakan.



Gambar 4. 3 Serat baja

$$\text{Kebutuhan serat baja (Gram)} = (V \times P \times \rho_f) \times 1000 \dots\dots\dots(4.4)$$

Keterangan:

V = Volume Cetakan Beton (m^3)

P = Persentase serat yang di gunakan (%)

ρ_f = Massa Jenis Serat (Kg/m^3)

Dari perhitungan rumus diatas didapatkan kebutuhan serat baja pada persentase 0%, 0,5% , 1%, 1,5%, 2% yang tertera pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Kebutuhan Serat Baja

| KEBUTUHAN SERAT PER SILINDER VOLUME (10X20 CM) | | | | | |
|--|------------------------|--------------------------------|------------------------|------------|------------------------------|
| Komposisi Serat P. Beton (%) | Volume Serat (m^3) | Berat Jenis Serat (kg/m^3) | Kebutuhan Serat (gram) | n Silinder | Total Kebutuhan Serat (gram) |
| 0,50% | 0,00000785 | 7850 | 61,62 | 9 | 554,60 |
| 1,00% | 0,00001570 | 7850 | 123,25 | 9 | 1.109,21 |
| 1,50% | 0,00002355 | 7850 | 184,87 | 9 | 1.663,81 |
| 2,00% | 0,00003140 | 7850 | 246,49 | 9 | 2.218,41 |
| Total Kebutuhan Serat (gram) | | | | | 5.546 |

4.2 Analisis Data

Pada sub bab 4.2 tentang analisis data ini berisikan hasil uji slump, uji kuat tarik belah dan uji berat jenis dengan penggunaan campuran serat baja yang di variasikan sebagai berikut.

4.2.1. Hasil Uji Slump

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian slump sebelum mencetak adukan beton ke dalam silinder. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi *workability* beton geopolimer yang telah disiapkan untuk penelitian ini. Hasil pengujian slump dapat ditemukan dalam Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Hasil Uji Slump terhadap Persentase Serat

| Komposisi Serat P. Beton (%) | Slump (cm) |
|------------------------------|------------|
| 0,00% | 20 |
| 0,50% | 11 |
| 1,00% | 7 |
| 1,50% | 5 |
| 2,00% | 2 |

Dari hasil pengujian slump, bahwa semakin meningkatnya persentase serat, maka nilai slump pada campuran beton geopolimer berserat cenderung semakin menurun. Gambar 4.4 proses terjadinya pengujian slump pada beton geopolimer berserat.



Gambar 4. 4 Pengujian Slump pada Beton Geopolimer

4.2.2. Hasil Kuat Tarik Belah

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini memiliki bentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Terdapat 5 variasi campuran serat baja dengan nilai persentase yang berbeda. Totalnya, terdapat 45 benda uji yang digunakan. Uji kuat tekan dilakukan setelah beton mencapai umur 7, 14, 28 hari. Pada Persamaan 2.1 diterapkan contoh pada perhitungan yang digunakan pada kuat tarik belah (SNI 03-2491-2002).

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

$$f_t = \frac{2 \times 19 \times 1000}{3,14 \times 100 \times 200}$$

$$f_t = 0,605 \text{ MPa}$$

Hasil kuat tarik belah dapat di lihat di Tabel 4.24 dengan beban kuat tarik belah dengan satuan kN yang dimana rumusnya dikalikan 1000 karena dikonversikan pada satuan Newton (N).

Tabel 4. 24 Hasil Uji Kuat Tarik Belah

| Serat | Beton Geopolimer | Massa (Kg) | Uji Kuat Tarik Belah (kN) | Kuat Tarik Belah (Mpa) |
|-------|------------------|------------|---------------------------|------------------------|
| | | 3,236 | 19 | 0,605 |
| | Beton 7 Hari | 3,308 | 19 | 0,605 |
| | | 3,369 | 13 | 0,414 |
| | | 3,376 | 25 | 0,796 |
| 0% | Beton 14 Hari | 3,411 | 45 | 1,433 |
| | | 3,631 | 46 | 1,465 |
| | | 3,501 | 57 | 1,815 |
| | Beton 28 Hari | 3,512 | 53 | 1,688 |
| | | 3,695 | 57 | 1,815 |
| | | 3,489 | 66 | 2,102 |
| | Beton 7 Hari | 3,566 | 82 | 2,611 |
| | | 3,598 | 67 | 2,134 |
| | | 3,603 | 64 | 2,038 |
| 0,5 % | Beton 14 Hari | 3,623 | 76 | 2,420 |
| | | 3,657 | 75 | 2,389 |
| | | 3,61 | 106 | 3,376 |
| | Beton 28 Hari | 3,721 | 106 | 3,376 |
| | | 3,735 | 114 | 3,631 |
| | | 3,474 | 68 | 2,166 |
| | Beton 7 Hari | 3,583 | 74 | 2,357 |
| | | 3,584 | 84 | 2,675 |
| | | 3,588 | 86 | 2,739 |
| 1,0 % | Beton 14 Hari | 3,675 | 89 | 2,834 |
| | | 3,707 | 92 | 2,930 |
| | | 3,72 | 95 | 3,025 |
| | Beton 28 Hari | 3,767 | 85 | 2,707 |
| | | 3,786 | 97 | 3,089 |
| | | 3,332 | 98 | 3,121 |
| | Beton 7 Hari | 3,394 | 118 | 3,758 |
| | | 3,643 | 160 | 5,096 |
| 1,5 % | Beton 14 Hari | 3,659 | 156 | 4,968 |
| | | 3,683 | 161 | 5,127 |

| Serat | Beton Geopolimer | Massa (Kg) | Uji Kuat Tarik Belah (kN) | Kuat Tarik Belah (Mpa) |
|-------|------------------|------------|---------------------------|------------------------|
| | | 3,723 | 173 | 5,510 |
| | | 3,742 | 164 | 5,223 |
| | Beton 28 Hari | 3,774 | 186 | 5,924 |
| | | 3,821 | 188 | 5,987 |
| | | 3,42 | 89 | 2,834 |
| | Beton 7 Hari | 3,521 | 131 | 4,172 |
| | | 3,559 | 100 | 3,185 |
| | | 3,541 | 98 | 3,121 |
| 2,0 % | Beton 14 Hari | 3,668 | 159 | 5,064 |
| | | 3,701 | 180 | 5,732 |
| | | 3,719 | 171 | 5,446 |
| | Beton 28 Hari | 3,768 | 221 | 7,038 |
| | | 3,844 | 221 | 7,038 |

Tabel 4.25 tersebut memberikan informasi mengenai kuat tarik belah beton geopolimer pada setiap umur pengujian.

Tabel 4. 25 Rekapitulasi Uji Kuat Tarik Belah

| Campuran | Rata Rata (Mpa) | | | | |
|---------------|-----------------|----------|--------|----------|--------|
| | BGP 0% | BGP 0,5% | BGP 1% | BGP 1,5% | BGP 2% |
| Beton 7 Hari | 0,54 | 2,28 | 2,40 | 3,99 | 3,40 |
| Beton 14 Hari | 1,23 | 2,28 | 2,83 | 5,20 | 4,64 |
| Beton 28 Hari | 1,77 | 3,46 | 2,94 | 5,71 | 6,51 |

4.2.3. Hasil Berat Jenis Beton

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran berat jenis beton menggunakan rumus tertentu dan hasilnya disajikan dalam bentuk tabel. Pengukuran berat jenis beton ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik berat jenis beton yang telah dibuat dalam konteks penelitian ini. Hasil pengukuran berat jenis beton tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang sifat-sifat fisik dan kualitas beton yang dihasilkan.

Hasil pengukuran berat jenis beton tersebut dirangkum dalam tabel 4.26 sebagai hasil dari pengujian pada berbagai campuran beton geopolimer yang berbeda. Tabel ini menyajikan data berat jenis beton, yang memberikan informasi yang berguna dalam memahami karakteristik fisik beton yang dihasilkan.

Tabel 4. 26 Hasil Uji Berat Jenis Beton

| Serat | Beton Geopolimer | Massa (Kg) | Berat Jenis (Kg/m ³) |
|-------|------------------|------------|----------------------------------|
| 0% | Beton 7 Hari | 3,236 | 2061,15 |

| Serat | Beton Geopolimer | Massa (Kg) | Berat Jenis (Kg/m ³) |
|-------|------------------|------------|----------------------------------|
| | | 3,308 | 2107,01 |
| | | 3,369 | 2145,86 |
| | | 3,376 | 2150,32 |
| | Beton 14 Hari | 3,411 | 2172,61 |
| | | 3,631 | 2312,74 |
| | Beton 28 Hari | 3,501 | 2229,94 |
| | | 3,512 | 2236,94 |
| | | 3,695 | 2353,50 |
| | | 3,489 | 2222,29 |
| | Beton 7 Hari | 3,566 | 2271,34 |
| | | 3,598 | 2291,72 |
| | | 3,603 | 2294,90 |
| 0,5 % | Beton 14 Hari | 3,623 | 2307,64 |
| | | 3,657 | 2329,30 |
| | | 3,61 | 2299,36 |
| | Beton 28 Hari | 3,721 | 2370,06 |
| | | 3,735 | 2378,98 |
| | | 3,474 | 2212,74 |
| | Beton 7 Hari | 3,583 | 2282,17 |
| | | 3,584 | 2282,80 |
| | | 3,588 | 2285,35 |
| 1,0 % | Beton 14 Hari | 3,675 | 2340,76 |
| | | 3,707 | 2361,15 |
| | | 3,72 | 2369,43 |
| | Beton 28 Hari | 3,767 | 2399,36 |
| | | 3,786 | 2411,46 |
| | | 3,332 | 2122,29 |
| | Beton 7 Hari | 3,394 | 2161,78 |
| | | 3,643 | 2320,38 |
| | | 3,659 | 2330,57 |
| 1,5 % | Beton 14 Hari | 3,683 | 2345,86 |
| | | 3,723 | 2371,34 |
| | | 3,742 | 2383,44 |
| | Beton 28 Hari | 3,774 | 2403,82 |
| | | 3,821 | 2433,76 |
| | | 3,42 | 2178,34 |
| | Beton 7 Hari | 3,521 | 2242,68 |
| | | 3,559 | 2266,88 |
| | | 3,541 | 2255,41 |
| 2,0 % | Beton 14 Hari | 3,668 | 2336,31 |
| | | 3,701 | 2357,32 |
| | Beton 28 Hari | 3,719 | 2368,79 |
| | | 3,768 | 2400,00 |

| Serat | Beton Geopolimer | Massa (Kg) | Berat Jenis (Kg/m ³) |
|-------|------------------|------------|----------------------------------|
| | | 3,844 | 2448,41 |

Melalui analisis hasil yang terdapat dalam tabel tersebut, dapat dilihat perbedaan berat jenis beton antar sampel yang diuji. Hal ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh variasi komposisi bahan dan perbandingan campuran terhadap berat jenis beton yang dihasilkan.

Tabel 4.27 berikut merupakan hasil rekapitulasi uji berat jenis pada beton geopolimer dengan campuran serat baja pada umur 7, 14, dan 28 hari.

Tabel 4. 27 Rekapitulasi Uji Berat Jenis

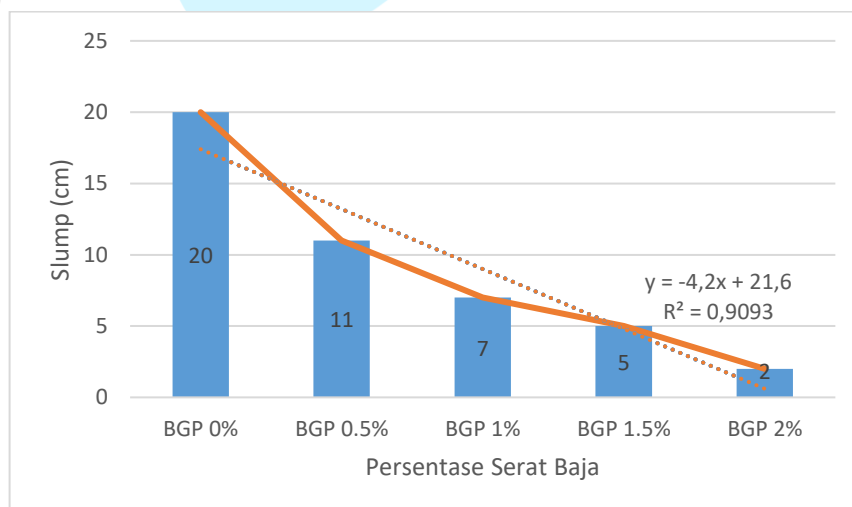
| Campuran | Rata - Rata (Kg/m ³) | | | | |
|---------------|----------------------------------|----------|---------|----------|---------|
| | BGP 0% | BGP 0,5% | BGP 1% | BGP 1,5% | BGP 2% |
| Beton 7 Hari | 2104,67 | 2201,49 | 2259,24 | 2393,42 | 2349,26 |
| Beton 14 Hari | 2211,89 | 2261,78 | 2329,09 | 2349,26 | 2316,35 |
| Beton 28 Hari | 2273,46 | 2310,62 | 2349,47 | 2407,01 | 2405,73 |
| Rata-Rata | 2196,67 | 2257,96 | 2312,60 | 2383,23 | 2357,11 |

4.3 Pembahasan

Pada sub bab 4.3 tentang pembahasan data ini berisikan hasil uji slump, uji kuat tarik belah dan uji berat jenis dengan penggunaan campuran serat baja yang divariasikan sebagai berikut.

4.3.1. Uji Slump

Gambar 4.5 menampilkan hasil grafik pengujian slump pada ketiga jenis campuran beton geopolimer dengan variasi serat baja yang berbeda.



Gambar 4. 5 Grafik Uji Slump Beton Geopolimer Berserat Baja

Dari hasil pengamatan tersebut, terlihat bahwa nilai slump beton dipengaruhi oleh persentase serat baja. Pada penambahan serat baja 0% ke 0,5% mengalami penurunan hingga 45%, lalu 0,5% ke 1% yaitu 36%, 1% ke 1,5% yaitu 29%, dan 1,5% ke 2% yaitu 60%. Setiap penambahan 0,5 % serat baja mengakibatkan penurunan rata-rata hingga 42% dan optimal slump terdapat pada serat 0,5% hingga 1,5%. Terdapat kecenderungan penurunan nilai slump seiring dengan peningkatan persentase serat baja. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin rendah nilai persentase, kebutuhan air dalam adukan beton meningkat, sehingga adukan beton menjadi lebih cair. Selain itu, dari hasil pengamatan juga terlihat bahwa adukan dengan persentase tinggi cenderung lebih cepat mencapai keadaan plastis atau beton lebih cepat mengeras.

Hubungan antara persentase serat baja dan nilai slump beton dapat diestimasi menggunakan persamaan regresi linear, yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$y = -4,2x + 21,6 \dots\dots\dots(4.5)$$

Dalam persamaan tersebut, variabel y merupakan nilai slump beton dalam centimeter (cm), dan variabel x merupakan bilangan persentase serat baja. Persamaan regresi linear ini memberikan gambaran tentang hubungan antara persentase serat dengan nilai slump beton.

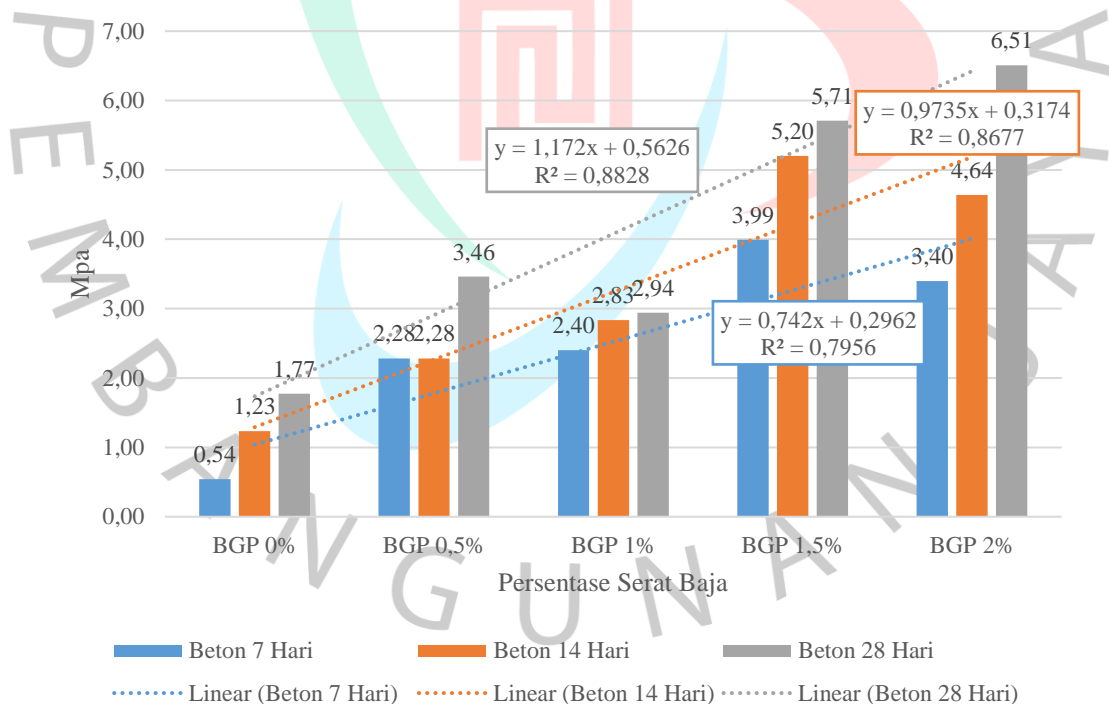
Hasil ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh persentase serat baja terhadap karakteristik slump beton geopolimer. Informasi ini dapat digunakan dalam penyesuaian proporsi bahan, perancangan campuran beton, dan pengendalian kualitas adukan beton geopolimer dengan mempertimbangkan faktor persentase serat baja yang digunakan.

4.3.2. Uji Kuat Tarik Belah

Pada uji kuat tarik belah, dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan beton geopolimer dalam menahan gaya tarik yang diberikan. Serat baja ditambahkan ke dalam campuran beton geopolimer untuk meningkatkan kekuatan tarik dan mengurangi retak pada beton. f_c yang digunakan ada beton geopolimer berserat ini ada 35 Mpa pada umur 7, 14, dan 28 hari, dilakukan pengujian uji kuat tarik belah dan hasilnya dicatat dalam tabel rekapitulasi.

Pada Penelitian (Geertruida Eveline Untu, 2015), hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi, yang berarti bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan, semakin besar nilai kuat tarik belah yang dihasilkan. Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah adalah $0,52-0,55\sqrt{f_{cr}}$, dan nilai perbandingan kuat tekan adalah 8,78-11,59%.

Pada pengujian (Fasdarsyah, 2018), mengemukakan nilai rata-rata kuat tarik belah beton menggunakan serat kawat email tembaga variasi 0% sebesar 3,35 Mpa, rata-rata tarik belah variasi 0,50% sebesar 3,42 MPa, rata-rata kuat tarik belah variasi 0,75% sebesar 3,75 MPa, rata-rata kuat tarik belah variasi 1% sebesar 3,34 MPa, rata-rata kuat tarik belah variasi 1,50% sebesar 3,30 Mpa. Untuk persentase per variasi serat tidak mengalami perubahan yang signifikan tetapi pada variasi 0,5% ke 0,75% naik hingga 10%. Dengan mutu rencananya adalah 20 MPa, persentase rata-rata terhadap kuat tarik belah pada beton normal serat kawat email adalah 17,16%.



Gambar 4. 6 Grafik Rekapitulasi Uji Kuat Tarik Belah

Dari gambar 4.6, dapat diamati bahwa kekuatan kuat tarik belah dengan benda uji persentase serat baja 0% mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya persentase serat. Peningkatan serat juga dapat dilihat dari hari masa

pengujian pada 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada 7 hari keadaan BGP 0% ke BGP 0,5% meningkat sangat signifikan yang mencapai 76%, rata-rata pada semua variasi serat mencapai 26% pada umur 7 hari. Pada 14 hari mengalami juga peningkatan yang sangat signifikan hingga 46% pada 0% ke 0,5% dan 1% ke 1,5%. Pada 28 hari variasi serat yang meningkat sama seperti umur 14 hari tetapi kenaikannya hingga 49% dan pada umur 14 serta 28 hari rata-rata peningkatannya hingga 25%. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa persentase serat baja dan umur beton mampu mempengaruhi laju peningkatan kuat tarik belah pada beton geopolimer. Selain itu, penambahan serat baja terbukti mampu meningkatkan nilai kuat tarik belah beton. Hal ini diungkapkan melalui persamaan 4.6, 4.7, dan 4.8 sebagai berikut.

Hubungan antara penambahan serat baja pada umur 7 hari dan kuat tarik belah pada beton geopolimer:

$$y = 0,742x + 0,2962 \dots\dots\dots (4.6)$$

Hubungan antara penambahan serat baja pada umur 14 hari dan kuat tarik belah pada beton geopolimer:

$$y = 0,9735x + 0,3174 \dots\dots\dots (4.7)$$

Hubungan antara penambahan serat baja pada umur 28 hari dan kuat tarik belah pada beton geopolimer:

$$y = 1,172x + 0,5626 \dots\dots\dots (4.8)$$

Dalam persamaan tersebut, variabel y merupakan nilai kuat tarik belah dalam MPa, dan variabel x merupakan bilangan persentase serat baja. Persamaan regresi linear ini memberikan gambaran tentang hubungan antara persentase serat dengan uji kuat tarik belah.

Pada penelitian (Siswanto Roby, 2017) dibuat dua rencana campuran dengan mutu K-225. Jika pasir pantai digunakan sebagai campuran beton, kuat tekannya akan meningkat menjadi 227,41 kg/cm³ sementara pasir sungai mencapai 260,74 kg/cm³. Jika cangkang kerang ditambahkan dengan proporsi 3% dan 5% dari total semen, kuat tekannya akan meningkat menjadi 237,78 kg/cm³ dan 231,11 kg/cm³, tetapi dengan proporsi 7%, kuat tekannya akan turun menjadi 220,00 kg/cm³.

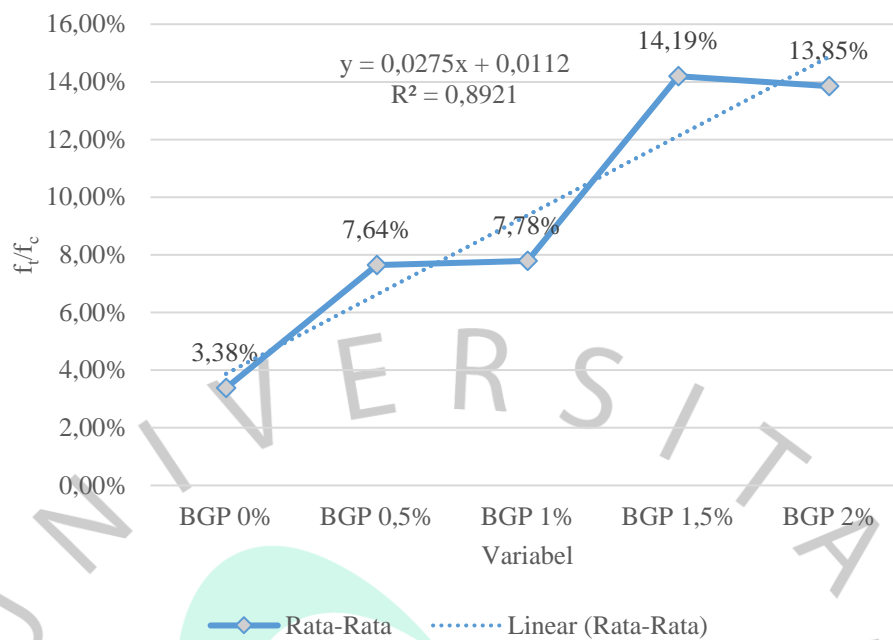
Pada penelitian (Latjemma, 2022) umur 28 hari, beton normal menghasilkan kuat tekan 22,63 Mpa, tetapi dengan penambahan serat sabut kelapa 0,5% menghasilkan kuat tekan 17,43 Mpa, yang mengalami penurunan 22,97% dari kuat tekan beton normal. Dengan penambahan 1,5% serat sabut kelapa, kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah 13,92 Mpa, yang mengalami penurunan 38,49% dari kuat tekan beton normal. Dengan penambahan 2,5% serat sabut kelapa, kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah 9,91 Mpa.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap persentase perbandingan antara kuat tarik belah beton dan mutu beton rencana (f_{cr}) yang ditetapkan sebesar 35 MPa. Berdasarkan hasil pengujian, persentase perbandingan tersebut dapat dijabarkan dalam tabel dan grafik yang menggambarkan hubungan antara kuat tarik belah dan mutu beton rencana pada berbagai umur beton, yaitu 7, 14, dan 28 hari.

Tabel 4. 28 Persentase Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Mutu Beton Rencana

| Campuran | Rata Rata (Mpa) | | | | |
|---------------|-----------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | BGP 0% | BGP 0,5% | BGP 1% | BGP 1,5% | BGP 2% |
| Beton 7 Hari | 1,55% | 6,52% | 6,85% | 11,40% | 9,71% |
| Beton 14 Hari | 3,52% | 6,52% | 8,10% | 14,86% | 13,25% |
| Beton 28 Hari | 5,07% | 9,89% | 8,40% | 16,32% | 18,59% |
| Rata-Rata | 3,38% | 7,64% | 7,78% | 14,19% | 13,85% |

Pada penelitian (Eka Kristian Wibisono, 2019), mengemukakan pada uji kuat tarik belah persentase serat baja 1% dalam beton serat baja (SFRC), terjadi peningkatan kekuatan yang signifikan, yaitu sebesar 49% dari kekuatan beton normal dengan kekuatan awal 23 MPa, dan 52,6% dari kekuatan beton normal dengan kekuatan awal 27 MPa. Sementara itu, pada persentase serat baja 1.5%, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 61,6% dari kekuatan beton normal untuk f_c' 23 MPa dan 59,2% dari kekuatan beton normal untuk f_c' 27 MPa.



Gambar 4. 7 Grafik Persentase Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan f_{cr} terhadap penambahan serat baja

Grafik yang disajikan juga memvisualisasikan hubungan antara kuat tarik belah dan mutu beton rencana. Dalam grafik tersebut, garis penghubung menunjukkan tren peningkatan kuat tarik belah beton seiring dengan bertambahnya umur beton. Terlihat bahwa kuat tarik belah beton secara konsisten mencapai persentase yang signifikan dari mutu beton rencana. Peningkatan hingga beton geopolimer serat baja kadar 1,5% mencapai keadaan optimal di 14,19% dengan peningkatan 45,16% dari kadar 1%. Rasio f_t/f_c didapatkan pada 7,64% - 14,19% atau dengan perbandingan rasio f_t/f_c 1:6 Hal ini diungkapkan melalui persamaan 4.9 sebagai berikut.

Hubungan antara penambahan serat baja terhadap persentasi kuat tarik belah dengan f_c pada beton geopolimer:

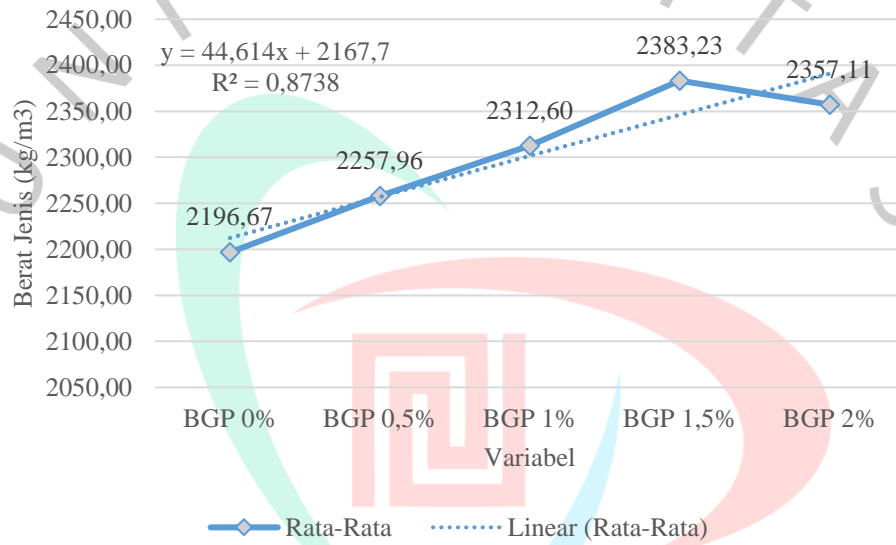
$$y = 0,0275x + 0,0112 \dots\dots\dots (4.9)$$

Dalam persamaan tersebut, variabel y merupakan nilai f_t/f_c dalam persen (%), dan variabel x merupakan bilangan persentase serat baja. Persamaan regresi linear ini memberikan gambaran tentang hubungan antara persentase serat dengan nilai persentase f_t/f_c .

Hasil analisis persentase perbandingan ini menggambarkan bahwa beton memiliki kinerja yang memenuhi atau bahkan melebihi mutu beton rencana yang ditetapkan.

4.3.3. Uji Berat Jenis

Pada penelitian ini dilakukan uji berat jenis pada beton geopolimer dengan campuran serat baja pada umur 7, 14, dan 28 hari. Uji berat jenis bertujuan untuk mengetahui karakteristik massa jenis dari beton geopolimer yang telah dicampur dengan serat baja pada berbagai umur.



Gambar 4. 8 Perbandingan Berat Jenis terhadap Penambahan Serat

(SNI 2847, 2019) menyatakan kepadatan jenis (berat beton) rata-rata adalah antara 2155 dan 2560 kg/m³; nilai ini biasanya dianggap 2200–2400 kg/m³.

Dari tabel dan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa berat jenis beton geopolimer dengan campuran serat baja mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton dan kadar serat. Pada BGP 1,5% meningkat cukup signifikan dari kadar serat 0%, peningkatan itu mencapai 7,8% dan BGP 1,5% mencapai berat jenis optimal terhadap penambahan serat pada beton geopolimer. Hal ini diungkapkan melalui persamaan 4.10 sebagai berikut.

Hubungan antara penambahan serat baja terhadap berat jenis pada beton geopolimer.

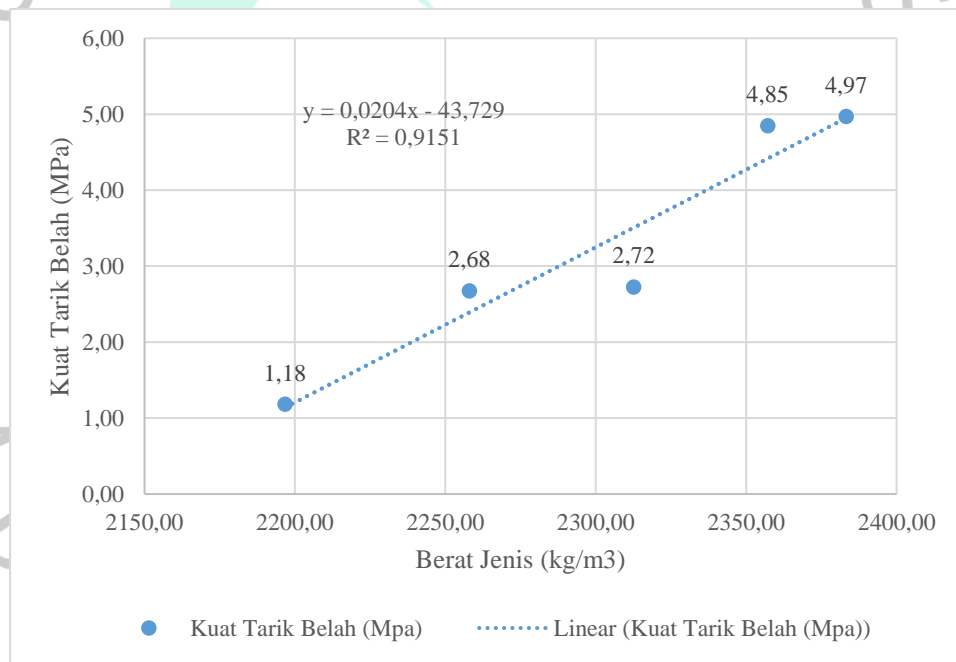
$$y = 44,614x + 2167,7 \dots\dots\dots (4.10)$$

Dalam persamaan tersebut, variabel y merupakan nilai berat jenis dalam kg/m^3 , dan variabel x merupakan bilangan persentase serat baja. Persamaan regresi linear ini memberikan gambaran tentang hubungan antara persentase serat dengan nilai berat jenis.

Terdapat grafik perbandingan antara berat jenis dengan kuat tarik belah. Grafik dan Tabel 4.29 ini digunakan untuk melihat hubungan antara berat jenis beton geopolimer dengan kuat tarik belah yang dihasilkan.

Tabel 4. 29 Berat Jenis terhadap Kuat Tarik Belah

| Campuran | Rata - Rata | | | | |
|---------------------------------|-------------|----------|---------|----------|---------|
| | BGP 0% | BGP 0,5% | BGP 1% | BGP 1,5% | BGP 2% |
| Berat Jenis (kg/m^3) | 2196,67 | 2257,96 | 2312,60 | 2383,23 | 2357,11 |
| Kuat Tarik Belah (MPa) | 1,18 | 2,68 | 2,72 | 4,97 | 4,85 |



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Berat Jenis dengan Kuat Tarik Belah

Dari Gambar 4.9, dapat dilihat hubungan antara berat jenis beton geopolimer dengan campuran kuat tarik belah. Terlihat bahwa semakin tinggi persen berat jenis beton geopolimer, umumnya semakin tinggi pula kuat tarik belah yang dihasilkan. Pada penelitian diatas, didapatkan berat jenis pada beton geopolimer dengan campuran serat baja menghasilkan maksimal 2383,23 kg/m^3 pada kadar serat 1,5%. Hal ini diungkapkan melalui persamaan 4.11 sebagai berikut.

Hubungan antara kuat tarik belah terhadap berat jenis pada beton geopolimer.

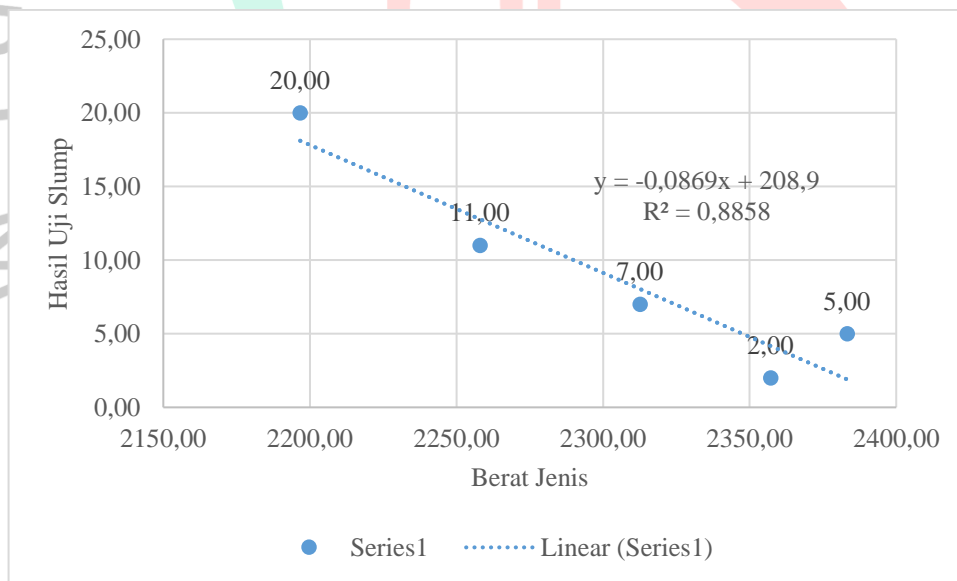
$$y = 0,0204x + 43,729 \dots\dots\dots (4.11)$$

Dalam persamaan tersebut, variabel y merupakan nilai kuat tarik belah beton (MPa), dan variabel x merupakan berat jenis beton (kg/m^3). Persamaan regresi linear ini memberikan gambaran tentang hubungan antara kuat tarik belah dengan berat jenis beton.

Terdapat grafik perbandingan antara berat jenis dengan uji slump. Grafik dan Tabel 4.30 ini digunakan untuk melihat hubungan antara berat jenis beton geopolimer dengan uji slump yang dihasilkan.

Tabel 4. 30 Tabel Berat Jenis dan Uji Slump

| Campuran | Rata – Rata | | | | |
|----------------------------------|-------------|----------|---------|----------|---------|
| | BGP 0% | BGP 0,5% | BGP 1% | BGP 1,5% | BGP 2% |
| Berat Jenis (kg/m ³) | 2196,67 | 2257,96 | 2312,60 | 2383,23 | 2357,11 |
| Uji Slump (cm) | 20,00 | 11,00 | 7,00 | 5,00 | 2,00 |



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Uji Slump dan Berat Jenis

Berdasarkan grafik yang disajikan, terlihat bahwa semakin tinggi berat jenis beton geopolimer, nilai slump cenderung semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan berat jenis, beton geopolimer menjadi lebih kaku dan memiliki kecenderungan untuk menjadi lebih kering. Grafik ini secara visual menggambarkan hubungan antara slump dan berat jenis dalam campuran beton

geopolimer dengan serat baja. Hal ini diungkapkan melalui persamaan 4.12 sebagai berikut.

Hubungan antara uji slump terhadap berat jenis pada beton geopolimer.

$$y = -0,0869x + 208,9 \dots\dots\dots (4.12)$$

Dalam persamaan tersebut, variabel y merupakan nilai uji slump beton (MPa), dan variabel x merupakan berat jenis beton (kg/m^3). Persamaan regresi linear ini memberikan gambaran tentang hubungan antara kuat tarik belah dengan berat jenis beton. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat baja dalam campuran beton geopolimer dapat mempengaruhi nilai slump. Persamaan linear tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan nilai slump berdasarkan berat jenis beton geopolimer dengan serat baja.

