

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Setelah seluruh rangkaian pengujian dilakukan terhadap benda uji baik benda uji desak maupun benda uji lentur didapatkan hasil antara lain beban maksimum untuk desak dan lentur, perubahan berat benda uji, perubahan volume dan perubahan fisik beton, untuk beton yang telah mengalami pembakaran maupun yang tidak. Data yang didapatkan dari pengujian tersebut ditampilkan pada tabel berikut. Tabel-tabel ini disusun sesuai dengan jenis campuran. Tabel hasil pengukuran dan pengujian kubus dengan campuran pasir hitam saja yang dibakar selama 3 jam dengan variasi suhu 100°C, 300°C, 600°C, bisa dilihat dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Desak Campuran Pasir Hitam 100 %

| No Kode | Waktu Pembakaran | Suhu °C | Berat (kg) | | Volume (cm ³) | | Bj (t/m ³) | | P Maks(kN) | F _c Mpa |
|---------------|------------------|---------|------------|-------|---------------------------|----------|------------------------|-------|------------|--------------------|
| | | | Awal | Akhir | Awal | Akhir | Awal | Akhir | | |
| 1 B0 | - | 30 | 8,253 | 8,253 | 3500,27 | 3500,27 | 2,36 | 2,36 | 910 | 40,2043 |
| 2 B4 | - | 30 | 8,332 | 8,332 | 3571,93 | 3571,93 | 2,33 | 2,33 | 920 | 39,7567 |
| 3 B8 | - | 30 | 8,162 | 8,162 | 3504,826 | 3504,826 | 2,33 | 2,33 | 930 | 41,1851 |
| Rata-rata | | | 8,249 | 8,249 | 3525,68 | 3525,68 | 2,34 | 2,34 | 920 | 40,3820 |
| Perubahan (%) | | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1 B1 | 3 jam | 100 | 8,422 | 8,186 | 3616,47 | 3615,47 | 2,33 | 2,26 | 900 | 38,743 |
| 2 B5 | 3 jam | 100 | 8,235 | 7,976 | 3499,14 | 3491,62 | 2,35 | 2,28 | 870 | 38,168 |
| 3 B9 | 3 jam | 100 | 8,178 | 7,934 | 3511,84 | 3510,62 | 2,33 | 2,26 | 890 | 39,991 |
| Rata-rata | | | 8,278 | 8,032 | 3542,48 | 3539,24 | 2,34 | 2,27 | 886,7 | 38,864 |
| Perubahan (%) | | | -2,97 | - | -0,0915 | - | -2,99 | - | - | - |
| 1 B2 | 3 jam | 300 | 8,293 | 7,732 | 3544,22 | 3542,11 | 2,34 | 2,18 | 830 | 36,0942 |
| 2 B6 | 3 jam | 300 | 8,045 | 7,473 | 3447,21 | 3437,88 | 2,33 | 2,17 | 830 | 39,4757 |
| 3 B10 | 3 jam | 300 | 8,219 | 7,649 | 3529,55 | 3534,50 | 2,33 | 2,16 | 800 | 35,1727 |
| Rata-rata | | | 8,186 | 7,618 | 3506,99 | 3504,83 | 2,33 | 2,17 | 820 | 36,4142 |
| Perubahan (%) | | | -6,94 | - | -0,0616 | - | -6,87 | - | - | - |
| 1 B3 | 3 jam | 600 | 8,296 | 7,545 | 3581,00 | 3568,67 | 2,32 | 2,11 | 725 | 31,6719 |
| 2 B7 | 3 jam | 600 | 8,299 | 7,565 | 3540,83 | 3520,22 | 2,34 | 2,13 | 720 | 31,3531 |
| 3 B11 | 3 jam | 600 | 8,049 | 7,562 | 3456,66 | 3452,06 | 2,33 | 2,15 | 720 | 32,1303 |
| Rata-rata | | | 8,191 | 7,458 | 3526,16 | 3523,65 | 2,33 | 2,13 | 721,7 | 31,7184 |
| Perubahan (%) | | | -8,95 | - | -0,0711 | - | -8,58 | - | - | - |

Tabel pengukuran pengujian kubus pasir putih + pasir hitam yang dibakar selama 3 jam dengan variasi suhu 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Desak Campuran White Sand 50% dan Black Sand 50 %

| No Kode | Waktu Pembakaran | Suhu °C | Berat (kg) | | Volume (cm ³) | | Bj (t/m ³) | | P Maks(kN) | Fc Mpa |
|---------------|------------------|---------|------------|-------|---------------------------|---------|------------------------|-------|------------|---------|
| | | | Awal | Akhir | Awal | Akhir | Awal | Akhir | | |
| 1 C0 | - | 30 | 8,225 | 8,225 | 3530,96 | 3530,96 | 2,33 | 2,33 | 1010 | 44,1240 |
| 2 C4 | - | 30 | 8,023 | 8,023 | 3471,04 | 3471,04 | 2,31 | 2,31 | 1050 | 46,5187 |
| 3 C8 | - | 30 | 8,060 | 8,060 | 3472,64 | 3472,64 | 2,32 | 2,32 | 1040 | 46,3405 |
| Rata-rata | | | 8,103 | 8,103 | 3491,55 | 3491,55 | 2,32 | 2,32 | 1033,3 | 45,6611 |
| Perubahan (%) | | | | | | | | | | |
| 1 C1 | 3 jam | 100 | 8,105 | 7,865 | 3486,30 | 3449,56 | 2,33 | 2,28 | 1010 | 44,4815 |
| 2 C5 | 3 jam | 100 | 8,163 | 7,915 | 3521,57 | 3502,21 | 2,32 | 2,26 | 1035 | 45,8542 |
| 3 C9 | 3 jam | 100 | 8,166 | 7,923 | 3508,61 | 3489,45 | 2,32 | 2,25 | 1020 | 44,8422 |
| Rata-rata | | | 8,145 | 7,901 | 3508,61 | 3489,45 | 2,32 | 2,26 | 1021,7 | 45,0593 |
| Perubahan (%) | | | -2,99 | | -0,546 | | -2,586 | | | |
| 1 C2 | 3 jam | 300 | 8,115 | 7,544 | 3515,29 | 3508,84 | 2,31 | 2,15 | 1000 | 44,0530 |
| 2 C6 | 3 jam | 300 | 8,132 | 7,540 | 3557,15 | 3536,60 | 2,28 | 2,12 | 965 | 42,0049 |
| 3 C10 | 3 jam | 300 | 8,150 | 7,566 | 3511,03 | 3501,01 | 2,32 | 2,16 | 1010 | 44,6778 |
| Rata-rata | | | 8,132 | 7,549 | 3527,16 | 3522,15 | 2,30 | 2,14 | 991,67 | 43,5786 |
| Perubahan (%) | | | -7,17 | | -0,1420 | | -6,956 | | | |
| 1 C3 | 3 jam | 600 | 8,280 | 7,611 | 3567,03 | 3540,36 | 2,33 | 2,14 | 870 | 37,5565 |
| 2 C7 | 3 jam | 600 | 8,175 | 7,492 | 3540,35 | 3508,29 | 2,31 | 2,14 | 770 | 33,8385 |
| 3 C11 | 3 jam | 600 | 8,061 | 7,451 | 3472,70 | 3495,96 | 2,32 | 2,13 | 820 | 36,4649 |
| Rata-rata | | | 8,172 | 7,518 | 3526,69 | 3514,87 | 2,32 | 2,137 | 820 | 35,9363 |
| Perubahan (%) | | | -8,00 | | -0,3351 | | -7,8879 | | | |

Tabel pengukuran dan pengujian kubus pasir putih yang dibakar selama 3 jam dengan variasi 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Desak Campuran White Sand 100 %

| No Kode | Waktu Pembakaran | Suhu °C | Berat (kg) | | Volume (cm ³) | | Bj (t/m ³) | | P Maks(kN) | Fc Mpa |
|---------------|------------------|---------|------------|-------|---------------------------|---------|------------------------|-------|------------|---------|
| | | | Awal | Akhir | Awal | Akhir | Awal | Akhir | | |
| 1 A0 | - | 30 | 8,125 | 8,125 | 3518,05 | 3518,05 | 2,31 | 2,31 | 1020 | 44,994 |
| 2 A4 | - | 30 | 8,094 | 8,094 | 3526,42 | 3526,42 | 2,29 | 2,29 | 1040 | 45,874 |
| 3 A8 | - | 30 | 8,054 | 8,054 | 3501,79 | 3501,79 | 2,29 | 2,29 | 985 | 43,291 |
| Rata-rata | | | 8,091 | 8,091 | 3515,42 | 3515,42 | 2,29 | 2,29 | 1015 | 44,7197 |
| Perubahan (%) | | | | | | | | | | |
| 1 A1 | 3 jam | 100 | 7,947 | 7,701 | 3455,67 | 3441,03 | 2,29 | 2,24 | 1000 | 44,979 |
| 2 A6 | 3 jam | 100 | 8,215 | 7,960 | 3527,74 | 3522,97 | 2,33 | 2,26 | 980 | 43,167 |
| 3 A9 | 3 jam | 100 | 8,067 | 7,730 | 3507,95 | 3498,82 | 2,29 | 2,21 | 1010 | 44,531 |
| Rata-rata | | | 8,046 | 7,797 | 3497,12 | 3487,61 | 2,30 | 2,24 | 997 | 44,226 |
| Perubahan (%) | | | -3,09 | | -0,772 | | -2,609 | | | |
| 1 A2 | 3 jam | 300 | 8,123 | 7,573 | 3512,56 | 3511,72 | 2,31 | 2,16 | 980 | 43,228 |
| 2 A6 | 3 jam | 300 | 8,283 | 7,743 | 3548,83 | 3551,83 | 2,33 | 2,18 | 970 | 42,555 |
| 3 A10 | 3 jam | 300 | 8,315 | 7,763 | 3538,81 | 3540,25 | 2,35 | 2,19 | 975 | 42,679 |
| Rata-rata | | | 8,240 | 7,693 | 3533,4 | 3534,60 | 2,33 | 2,177 | 975 | 42,821 |
| Perubahan (%) | | | -6,64 | | -0,034 | | -6,5665 | | | |
| 1 A3 | 3 jam | 600 | 8,180 | 7,525 | 3609,13 | 3591,15 | 2,26 | 2,10 | 730 | 31,799 |
| 2 A7 | 3 jam | 600 | 8,171 | 7,535 | 3549,59 | 3540,05 | 2,30 | 2,13 | 800 | 35,159 |
| 3 I1 | 3 jam | 600 | 8,111 | 7,473 | 3504,10 | 3491,26 | 2,31 | 2,14 | 790 | 34,831 |
| Rata-rata | | | 8,154 | 7,511 | 3554,32 | 3540,81 | 2,29 | 2,12 | 773 | 33,9297 |
| Perubahan (%) | | | -7,89 | | -0,380 | | -7,424 | | | |

Tabel pengukuran dan pengujian balok lentur campuran pasir putih yang dibakar selama 3 jam dengan variasi suhu 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian lentur Campuran Pasir Putih 100 %

| No Kode | Waktu Pembakaran | Suhu °C | Berat (kg) | | Volume (cm ³) | | Bj (t/m ³) | | P maks (kN) | F _c Mpa |
|---------------|------------------|---------|------------|-------|---------------------------|-----------|------------------------|-------|-------------|--------------------|
| | | | Awal | Akhir | Awal | Akhir | Awal | Akhir | | |
| 1 A0 | - | 30 | 24,2 | 24,2 | 10487,681 | 10487,681 | 2,31 | 2,31 | 3100 | 46,0296 |
| 2 A4 | - | 30 | 23,4 | 23,4 | 10316,399 | 10316,399 | 2,27 | 2,27 | 3000 | 44,7295 |
| 3 A8 | - | 30 | 23,8 | 23,8 | 10348,011 | 10348,011 | 2,29 | 2,29 | 3200 | 47,8876 |
| Rata-rata | | | 23,8 | 23,8 | 10384,030 | 10384,030 | 2,29 | 2,29 | 3100 | 46,2156 |
| Perubahan (%) | | | | | | | | | | |
| 1 A1 | 3 jam | 100 | 23,9 | 23,8 | 10489,983 | 10431,30 | 2,28 | 2,28 | 2650 | 39,3917 |
| 2 A5 | 3 jam | 100 | 24,0 | 23,7 | 10296,378 | 10212,08 | 2,33 | 2,32 | 3035 | 45,2091 |
| 3 A9 | 3 jam | 100 | 23,6 | 23,3 | 10373,283 | 10205,92 | 2,28 | 2,28 | 2600 | 38,9374 |
| Rata-rata | | | 23,8 | 23,6 | 10386,55 | 10283,09 | 2,297 | 2,293 | 2761,7 | 41,1794 |
| Perubahan (%) | | | -1,576 | | -1,240 | | -0,44 | | | |
| 1 A2 | 3 jam | 300 | 23,4 | 22,3 | 10207,575 | 10182,65 | 2,29 | 2,19 | 2110 | 31,8019 |
| 2 A6 | 3 jam | 300 | 23,6 | 22,3 | 10292,992 | 10276,49 | 2,29 | 2,17 | 1900 | 28,5146 |
| 3 A10 | 3 jam | 300 | 24,1 | 22,9 | 10432,874 | 10262,48 | 2,297 | 2,193 | 1980 | 19,4371 |
| Rata-rata | | | 23,7 | 22,5 | 10311,147 | 10262,48 | 2,297 | 2,193 | 1996,7 | 29,9179 |
| Perubahan (%) | | | -5,063 | | -0,472 | | -4,53 | | | |
| 1 A3 | 3 jam | 600 | 23,2 | 21,8 | 10212,949 | 9954,34 | 2,27 | 2,19 | 1120 | 16,7937 |
| 2 A7 | 3 jam | 600 | 24,1 | 22,4 | 10422,686 | 10409,49 | 2,31 | 2,15 | 820 | 12,0854 |
| 3 A11 | 3 jam | 600 | 23,7 | 22,2 | 10264,265 | 10103,48 | 2,31 | 2,18 | 980 | 14,7285 |
| Rata-rata | | | 23,67 | 22,13 | 10299,97 | 10155,77 | 2,297 | 2,177 | 973,3 | 14,5359 |
| Perubahan (%) | | | -6,506 | | -1,400 | | -5,22 | | | |

Tabel pengukuran dan pengujian balok lentur campuran pasir hitam yang dibakar selama 3jam dengan variasi suhu 100⁰ C, 300⁰ C, 600⁰ C.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Lentur Campuran Pasir hitam 100 %

| No Kode | Waktu Pembakaran | Suhu °C | Berat (kg) | | Volume (cm ³) | | Bj (t/m ³) | | P Maks(kN) | F _c Mpa |
|---------------|------------------|---------|------------|-------|---------------------------|----------|------------------------|-------|------------|--------------------|
| | | | Awal | Akhir | Awal | Akhir | Awal | akhir | | |
| 1 B0 | - | 30 | 24,2 | 24,2 | 10562,62 | 10562,62 | 2,29 | 2,29 | 2900 | 42,5832 |
| 2 B7 | - | 30 | 24,2 | 24,2 | 10538,68 | 10588,68 | 2,29 | 2,29 | 2700 | 39,9640 |
| 3 B8 | - | 30 | 24,0 | 24,0 | 10509,11 | 10509,11 | 2,28 | 2,28 | 2800 | 41,3544 |
| Rata-rata | | | 24,13 | 24,13 | 10553,47 | 10553,47 | 2,287 | 2,287 | 2800 | 41,3005 |
| Perubahan (%) | | | | | | | | | | |
| 1 B1 | 3 jam | 100 | 23,4 | 23,0 | 10314,45 | 10294,03 | 2,27 | 2,23 | 2410 | 35,6716 |
| 2 B5 | 3 jam | 100 | 23,6 | 23,2 | 10157,05 | 10100,93 | 2,32 | 2,29 | 2310 | 34,7444 |
| 3 B9 | 3 jam | 100 | 23,9 | 23,5 | 10301,248 | 9996,71 | 2,32 | 2,35 | 2550 | 38,1594 |
| Rata-rata | | | 23,63 | 23,23 | 10257,583 | 10130,39 | 2,30 | 2,29 | 2423,3 | 36,1918 |
| Perubahan (%) | | | -1,693 | | -1,239 | | -0,44 | | | |
| 1 B2 | 3 jam | 300 | 24,2 | 22,8 | 10386,65 | 10323,78 | 2,33 | 2,21 | 1900 | 28,5137 |
| 2 B6 | 3 jam | 300 | 24,3 | 22,9 | 10321,20 | 10352,97 | 2,35 | 2,21 | 1820 | 27,4291 |
| 3 B9 | 3 jam | 300 | 24,0 | 22,6 | 10337,66 | 10334,58 | 2,32 | 2,19 | 1870 | 28,0104 |
| Rata-rata | | | 24,16 | 22,77 | 10348,50 | 10337,11 | 2,33 | 2,20 | 1863,3 | 27,9844 |
| Perubahan (%) | | | -5,753 | | -0,11006 | | -5,58 | | | |
| 1 A5 | 3 jam | 600 | 23,6 | 21,6 | 10341,39 | 10334,93 | 2,28 | 2,09 | 600 | 8,9986 |
| 2 B7 | 3 jam | 600 | 23,9 | 21,8 | 10294,47 | 10283,02 | 2,32 | 2,12 | 780 | 11,6854 |
| 3 A11 | 3 jam | 600 | 23,9 | 21,80 | 10320,95 | 10303,80 | 2,32 | 2,12 | 683,3 | 10,0538 |
| Rata-rata | | | 23,8 | 21,73 | 10318,94 | 10337,25 | 2,30 | 2,11 | 683,3 | 10,2459 |
| Perubahan (%) | | | -8,697 | | -0,1133 | | -8,26 | | | |

Tabel pengukuran dan pengujian balok lentur campuran pasir putih + pasir hitam yang dibakar selama 3jam dengan variasi suhu 100^o C, 300^o C, 600^o C.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lentur Campuran Pasir Putih 50 % + Pasir Hitam 50 %.

| No Kode | Waktu Pembakaran | Suhu °C | Berat (kg) | | Volume (cm ³) | | Bj (t/m ³) | | P Maks(kN) | F _c Mpa |
|---------------|------------------|---------|------------|-------|---------------------------|----------|------------------------|-------|------------|--------------------|
| | | | Awal | Akhir | Awal | Akhir | Awal | Akhir | | |
| 1 C0 | - | 30 | 23,9 | 23,9 | 10320,29 | 10320,29 | 2,32 | 2,32 | 3185 | 47,2905 |
| 2 C4 | - | 30 | 24,6 | 24,6 | 10467,97 | 10467,97 | 2,35 | 2,35 | 3300 | 48,3291 |
| 3 C8 | - | 30 | 24,8 | 24,8 | 10765,48 | 10765,48 | 2,30 | 2,30 | 3200 | 46,9037 |
| Rata-rata | | | 24,43 | 24,43 | 10517,91 | 10517,91 | 2,30 | 2,30 | 3228,3 | 47,5007 |
| Perubahan (%) | | | | | | | | | | |
| 1 C1 | 3 jam | 100 | 24,5 | 24,0 | 10457,15 | 10344,83 | 2,34 | 2,32 | 2835 | 42,7501 |
| 2 C5 | 3 jam | 100 | 23,7 | 23,1 | 10185,78 | 10015,00 | 2,33 | 2,31 | 2800 | 42,2924 |
| 3 C9 | 3 jam | 100 | 24,9 | 24,3 | 10776,95 | 10565,22 | 2,31 | 2,31 | 3000 | 43,7171 |
| Rata-rata | | | 24,37 | 23,80 | 10473,95 | 10308,36 | 2,33 | 2,31 | 2878,3 | 42,9199 |
| Perubahan (%) | | | -2,34 | | -1,16 | | -0,86 | | | |
| 1 C2 | 3 jam | 300 | 24,7 | 22,9 | 10859,13 | 10819,36 | 2,28 | 2,12 | 2230 | 32,3621 |
| 2 C6 | 3 jam | 300 | 23,8 | 22,3 | 10289,43 | 10273,99 | 2,31 | 2,17 | 2510 | 37,4887 |
| 3 C10 | 3 jam | 300 | 24,6 | 22,9 | 10567,66 | 10456,62 | 2,33 | 2,19 | 2400 | 35,8688 |
| Rata-rata | | | 24,36 | 22,2 | 10572,07 | 10516,66 | 2,31 | 2,16 | 2380 | 35,2389 |
| Perubahan (%) | | | -6,81 | | -0,52 | | -6,50 | | | |
| 1 C3 | 3 jam | 600 | 23,8 | 21,7 | 10289,07 | 10279,49 | 2,30 | 2,11 | 1050 | 15,7978 |
| 2 C7 | 3 jam | 600 | 24,6 | 22,5 | 10701,61 | 10513,72 | 2,29 | 2,14 | 1540 | 22,6145 |
| 3 I1 | 3 jam | 600 | 24,7 | 22,6 | 10584,36 | 10560,75 | 2,33 | 2,14 | 1300 | 19,1705 |
| Rata-rata | | | 24,36 | 22,26 | 10523,01 | 10451,32 | 2,31 | 2,31 | 1296,7 | 19,1943 |
| Perubahan (%) | | | -8,62 | | -0,70 | | -7,80 | | | |

Besar kuat desak pada tabel di atas adalah kuat desak rata-rata (f_{cr}) yang harus dikurangi dengan deviasi standar (S_d), seperti pada rumus berikut ini

$$f_c = f_{cr} - 0,82 \cdot S_d$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_{cr} - f_c)^2}{N-1}}$$

Untuk lebih jelasnya hasil pengurangan tersebut dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut ini :

Tabel 5.7 Kuat Desak Aktual

| No | Kode | Lama Pembakaran | Suhu °C | f _{cr} Mpa | S _d | f _c Mpa |
|----|------|-----------------|---------|---------------------|----------------|--------------------|
| 1 | A0 | - | - | 44,7197 | 1,0722 | 43,8405 |
| 2 | A1 | 3 jam | 100 | 44,2260 | 0,7706 | 43,5941 |
| 3 | A3 | 3 jam | 300 | 42,8210 | 0,2924 | 42,5812 |
| 4 | A6 | 3 jam | 600 | 33,9297 | 1,5126 | 32,6894 |

| No | Kode | Lama Pembakaran | Suhu ° C | f _{cr} Mpa | S _d | f _c Mpa |
|----|------|-----------------|-------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| 1 | C0 | - | - | 48,3478 | 1,0893 | 17,4546 |
| 2 | C1 | 3 jam | 100 | 38,8864 | 0,5811 | 38,4099 |
| 3 | C3 | 3 jam | 300 | 44,5336 | 1,1416 | 43,5975 |
| 4 | C6 | 3 jam | 600 | 35,6563 | 1,5605 | 34,3767 |

| No | Kode | Lama Pembakaran | Suhu ° C | f _{cr} Mpa | S _d | f _c Mpa |
|----|------|-----------------|-------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| 1 | B0 | - | - | 40,3820 | 0,6685 | 39,8338 |
| 2 | B1 | 3 jam | 100 | 38,8864 | 0,2269 | 38,7004 |
| 3 | B3 | 3 jam | 300 | 36,9142 | 1,9163 | 35,3428 |
| 4 | B6 | 3 jam | 600 | 31,7184 | 0,3189 | 31,4568 |

Keterangan

A = Beton dengan campuran pasir putih 100 %

B = Beton dengan campuran agregat pasir hitam 100 %

C = Beton dengan campuran agregat pasir hitam 50 %+ pasir putih 50 %

Selain perubahan kekuatan yang diketahui dari hasil pengujian desak dan lentur, juga terjadi perubahan fisik beton yang dapat diamati secara langsung. Perubahan fisik yang diamati dan dicatat pada penelitian ini meliputi perubahan warna dan retak-retak akibat pembakaran pada suhu 300° C dan 600° C selama 3 jam. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.8 Perubahan Fisik Beton

| No | KODE CAMPURAN | SUHU °C | PERUBAHAN FISIK | |
|----|------------------|------------|------------------------|--------------------------|
| | | | WARNA | RETAK |
| 1 | A | - | Abu-abu keputihan | - |
| 2 | B | - | Abu-abu kehijauan | - |
| 3 | C | - | Abu" muda kehijauan | - |
| 4 | A | 100 | Abu-abu keputihan | - |
| 5 | B | 100 | Abu-abu kehijauan | - |
| 6 | C | 100 | Abu-abu kehijauan | - |
| 7 | A | 300 | Putih keabu-abuan | Retak rambut sedikit |
| 8 | B | 300 | Abu-abu muda kehijauan | Pada ujung-ujung pinggir |
| 9 | C | 300 | Abu-abu keputihan | Pada ujung-ujung pinggir |
| 10 | A | 600 | putih keabu-abuan | Retak-retak agak |
| 11 | B | 600 | Abu-abu keputihan | Banyak diseluruh |
| 12 | C | 600 | Abu-abu keputihan | Fermukaan |

5.2 Pembahasan

5.2.1 Keadaan Fisik Beton

Keadaan fisik beton yang terkena suhu tinggi akan mengalami perubahan sifat-sifat penyusun beton. Perubahan yang dapat diamati secara langsung pada penelitian ini adalah perubahan warna dan terjadinya retak-retak pada permukaan beton. Pada kondisi normal atau sebelum dibakar beton dengan campuran sebagai berikut ini.

Pasir putih 100 % = warnanya abu-abu keputihan.

Pasir hitam 100 % = warnanya abu-abu kehijauan.

Pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % = warna abu-abu kehijauan.

Warna awal yang berbeda dari masing-masing campuran ini disebabkan oleh perbedaan agregat yang digunakan. Pada penggunaan pasir hitam 100 % warnanya agak gelap hal ini karena dipengaruhi zat MgO yang dikandung pasir

hitam. Sedangkan pada campuran pasir putih 100 % warnanya lebih pucat karena kandungan MgO pasir putih lebih sedikit.

Setelah dibakar 100° C selama 3 jam, warnanya tidak berubah untuk seluruh variasi campuran. Setelah dibakar pada suhu 300° C selama 3 jam, warnanya berubah menjadi lebih muda dari warna awal dan setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 600° C warna berubah, beton dengan campuran :

pasir putih 100 % = warnanya putih keabu-abuan,

pasir hitam 100 % = warnanya abu-abu keputih-putihan,

pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % = warnanya abu-abu keputih-putihan.

Perubahan warna dari abu-abu kehijauan menjadi abu-abu keputih-putihan ini disebabkan oleh terhidrasinya kalsium hidroksida pada pasta semen, seperti dalam persamaan reaksi berikut ini:



(Calcium Hidroksida) (Calcium Oksida) (Air)

Retak-retak permukaan terjadi pada beton yang telah dibakar pada suhu 300° C selama 3 jam. Pada beton yang dibakar pada suhu 100° C selama 3 jam retak-retak permukaan hampir tidak terlihat.

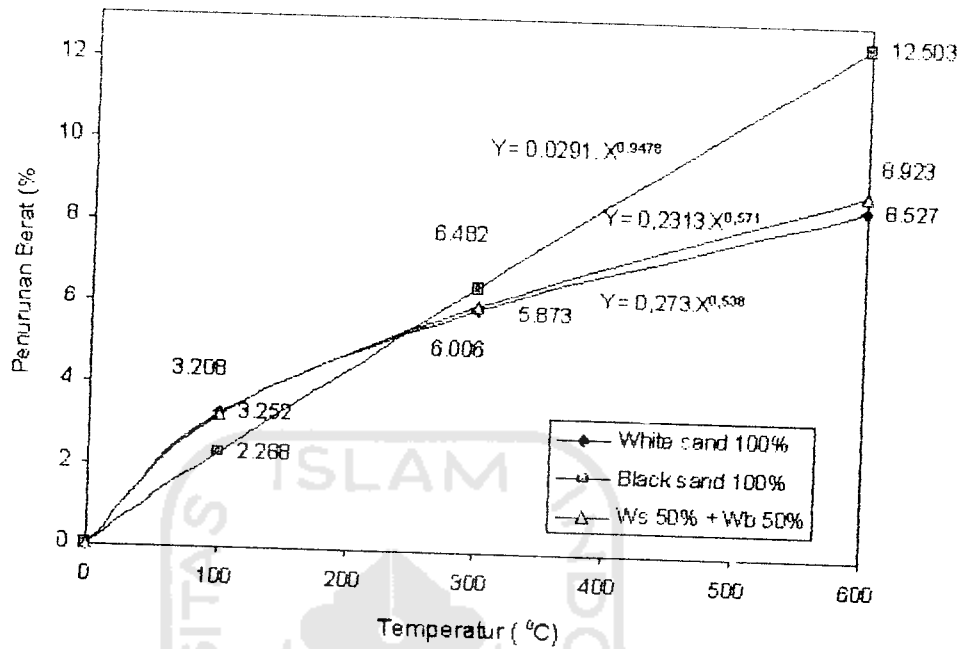
Keretakan pada beton yang dibakar pada suhu 300° C selama 3 jam terlihat mempunyai retak-retak rambut tetapi terjadi hanya dibagian pojok atau ujung permukaan. Sedangkan pada beton yang dibakar pada suhu 600° C selama 3 jam retak beton terlihat hampir diseluruh permukaan beton, tapi tetap hanya retak-retak rambut yang jumlahnya lebih banyak, ini terjadi pada seluruh variasi campuran. Retak-retak ini terjadi bisa disebabkan oleh perbedaan koefisien muai panas pasta semen dan agregat, tekanan uap pada pori-pori beton dan kehilangan air yang menyebabkan penyusutan pasta semen, sementara agregat memuai.

5.2.2 Berat, Volume dan Berat Jenis Beton

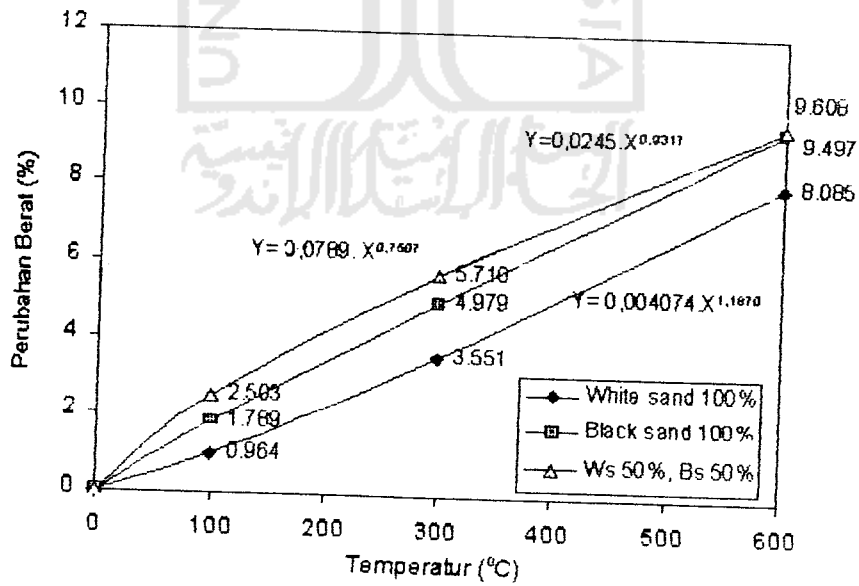
Parameter lain yang berubah setelah pembakaran adalah berat dan volume benda uji. Perubahan keduanya akan berpengaruh terhadap perubahan berat jenis benda uji, karena berat jenis merupakan perbandingan berat terhadap volume suatu benda. Dari pengukuran didapatkan terjadinya penurunan berat benda uji.

Perubahan berat ini sangat bervariasi untuk masing-masing campuran, hal ini karena banyak faktor yang berpengaruh dalam pembuatan adukan beton. Faktor yang berpengaruh paling dominan adalah dalam pemadatan adukan yang dituang dalam acuan yang tidak selalu sama, baik intensitas maupun kekuatan pemadatan.

Setelah dilakukan analisa regresi terhadap data hasil pengujian (lampiran 8,9,15,16) pada benda uji kubus terlihat bahwa campuran pasir hitam pada suhu 100°C - 250°C mengalami penurunan berat lebih rendah persentasenya dibanding variasi campuran II dan III, hal ini karena pengaruh kandungan air jenuh yang banyak dikandung oleh pasir hitam. Sedang pada suhu 250°C sampai 600°C penurunan lebih besar pada campuran pasir hitam ini. Hal ini karena pengaruh zat yang dikandung oleh pasir hitam lebih heterogen dibandingkan kandungan pasir putih yang lebih homogen. Sedangkan pada benda uji lentur untuk masing-masing campuran terjadi secara linier, semakin tinggi suhu semakin tinggi pula penurunan berat yang terjadi. Penurunan berat antara suhu 100°C sampai 250°C paling besar terjadi pada campuran III sedangkan paling rendah terjadi pada campuran II. Untuk lebih jelasnya penurunan berat tersebut dapat lihat pada gambar 5.1 dan 5.2.



Gambar 5.1 Grafik Prosentase Penurunan Berat Kubus Terhadap Suhu Pembakaran



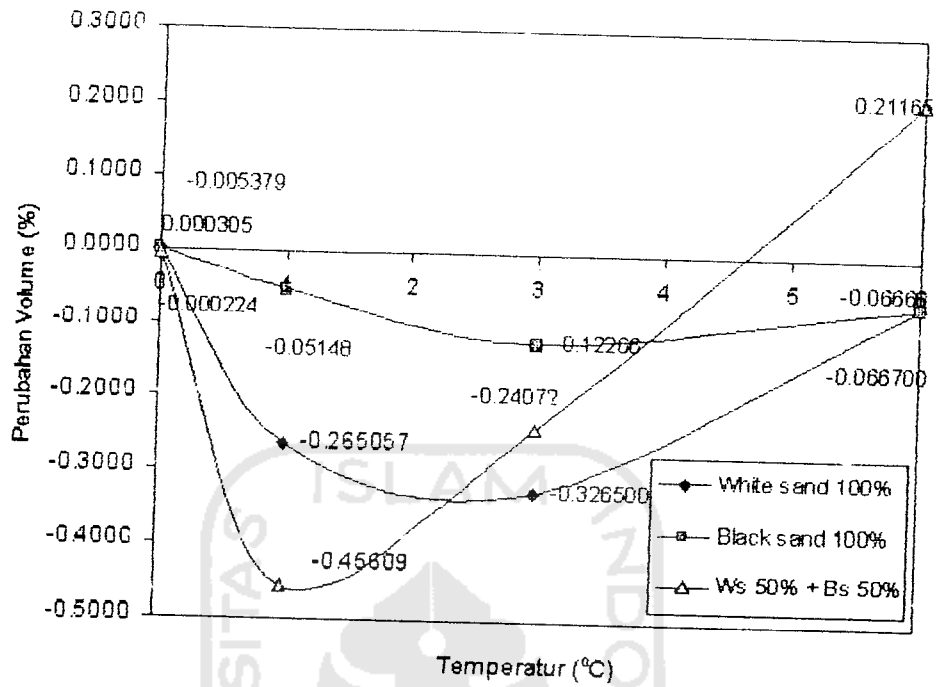
Gambar 5.2 Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok Terhadap Suhu Pembakaran

Dari gambar 5.1 dan 5.2 di atas terlihat bahwa semakin tinggi suhu semakin banyak penurunan berat terjadi. Penurunan berat ini disebabkan karena kehilangan air yang terkandung pada beton akibat pembakaran. Suhu yang tinggi dan lama pembakaran berpengaruh pada kedalaman pengaruh panas dan menyebabkan penguapan air pada beton tersebut, sehingga terjadi perubahan volume benda uji setelah pembakaran. Perubahan tersebut ada yang berupa penyusutan dan ada yang berupa pemuaian.

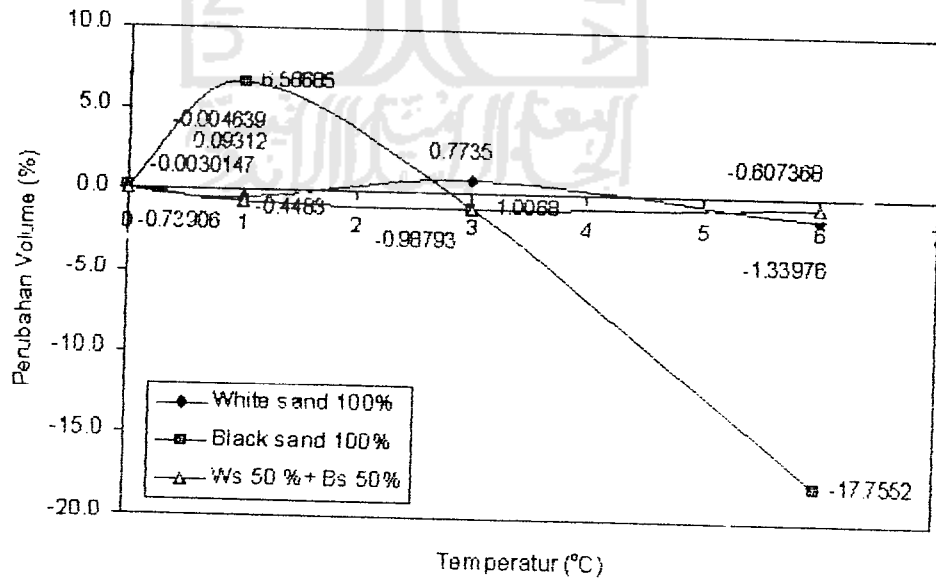
Penyusutan yang terjadi pada beton yang telah dibakar disebabkan karena kehilangan air yang terdapat pada pasta semen dan pori-pori agregat. Proses ini terjadi pada suhu pembakaran tertentu yang selanjutnya akan diikuti dengan pemuaian secara perlahan agregat dan pasta semen yang telah kehilangan kadar airnya. Pemuaian yang terjadi pada pasta semen dan agregat tidak sama besar, sehingga menimbulkan retak-retak pada permukaan beton.

Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa pada pembakaran kubus pada suhu tertentu selama 3 jam terjadi penyusutan Volume.

Penyusutan yang terjadi paling besar persentasenya adalah pada pembakaran dengan suhu 100 °C. Selanjutnya pada suhu 300 °C dan suhu 600 °C penyusutan sedikit lebih kecil persentasenya, hal ini karena adanya penggantian ruang dari air yang terhidrasi dengan pemuaian pasta semen. Setelah dilakukan analisa regresi terhadap data hasil pengukuran (lampiran 23, 24, 25) grafik perubahan volume untuk masing benda uji dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4.

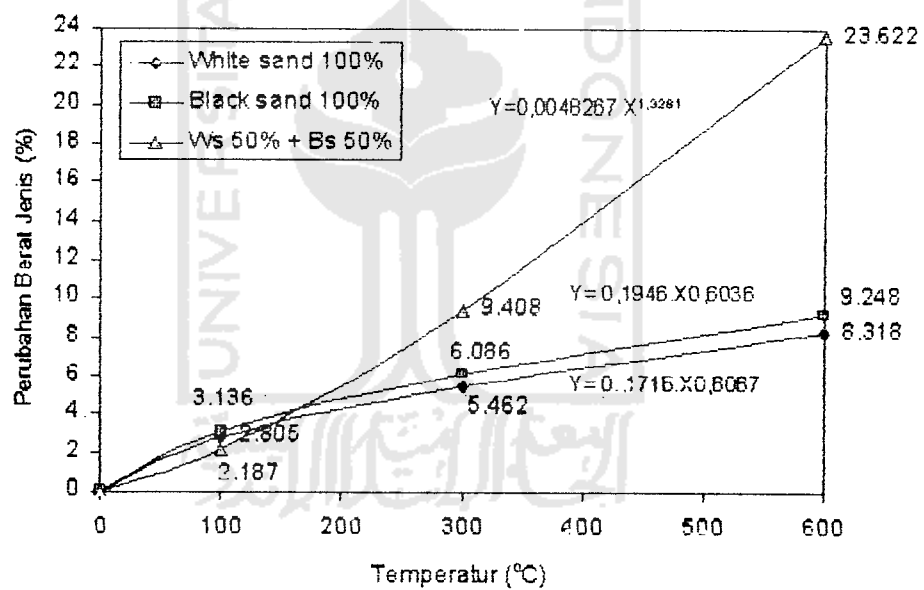


Gambar 5.3 Grafik Prosentase Perubahan Volume Kubus Terhadap Suhu Pembakaran



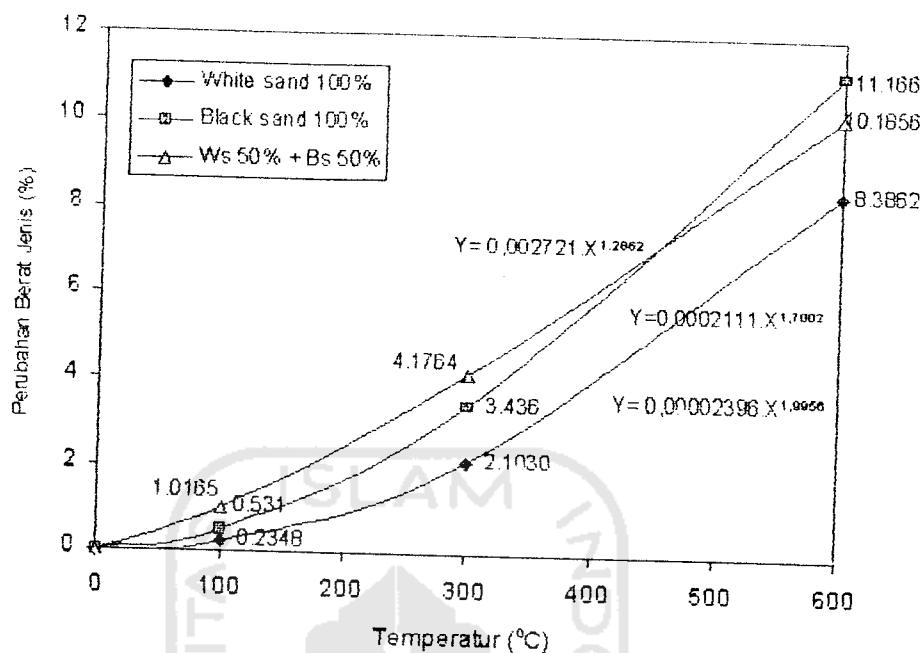
Gambar 5.4 Grafik Prosentase perubahan Volume Balok Terhadap Suhu Pembakaran

Setelah membandingkan hasil pengujian dari benda uji desak maupun lentur yang dibakar dengan yang tidak dibakar maka diketahui bahwa adanya penurunan berat jenis seiring dengan bertambahnya suhu pembakaran. Analisa regresi dari perubahan berat jenis bisa dilihat pada (lampiran 10, 11, 17, 18). Prosentase penurunan berat jenis beton setelah mengalami pembakaran dapat dilihat pada gambar 5.5 dan 5.6



Gambar 5.5 Grafik Prosentase Berat Jenis Kubus Terhadap Suhu Pembakaran





Gambar 5.6 Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok terhadap Suhu Pembakaran

Penurunan berat jenis ini dipengaruhi oleh berat dan volume benda uji. Kehilangan air dan pemuai pada pasta semen dan agregat akibat pemanasan berpengaruh terhadap perubahan berat dan perubahan volume yang secara tidak langsung mengakibatkan terjadi perubahan berat jenis.

5.2.3 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton rencana untuk benda uji pada penelitian ini adalah adalah $f_c = 41,18$ Mpa. Dari hasil pengujian desak untuk beton yang tidak dibakar didapat tegangan desak karakteristik beton sebesar :

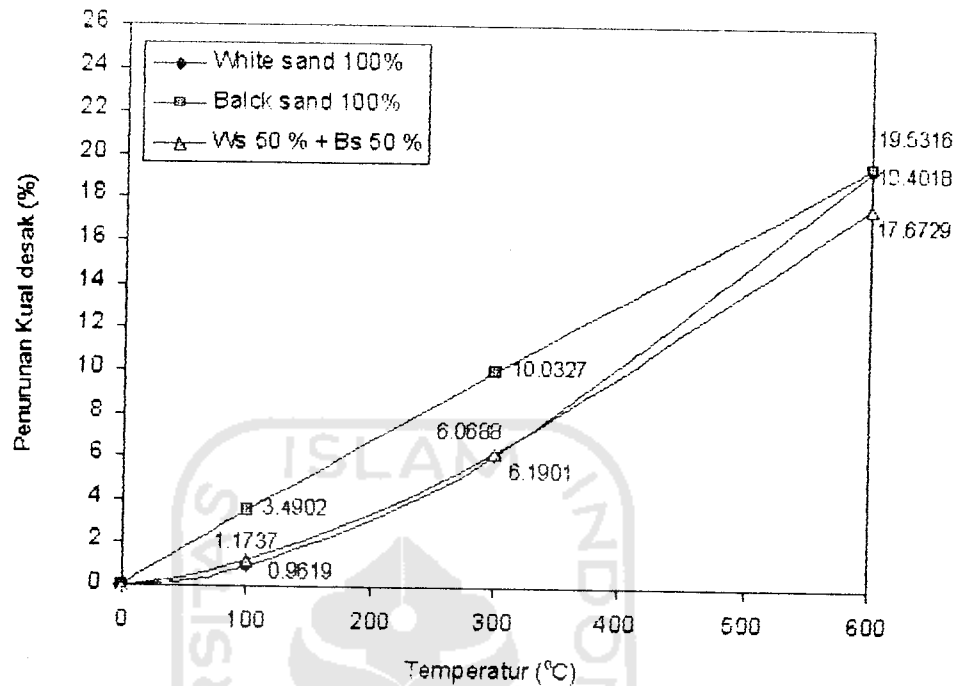
untuk pasir putih = 44,7197 Mpa,

untuk pasir hitam = 40,3820 Mpa,

untuk pasir putih dan hitam = 45,6611 Mpa.

Dari kekuatan beton yang tidak dibakar ini terlihat bahwa campuran pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % terlihat paling baik karena mempunyai kekuatan desak paling tinggi dibanding pasir hitam dan pasir putih. Hal ini karena pengaruh gradasi pasir yang lebih variatif dari dua campuran yang lain. Sedangkan campuran pasir putih 100 % lebih tinggi kekuatannya dibanding dengan pasir hitam karena kandungan lumpur sedikit dibanding pasir hitam, dan juga dikarenakan pasir putih mempunyai kandungan yang lebih homogen.

Kuat desak hasil pegujian ini dipakai sebagai pembandingan terhadap kuat desak beton setelah dibakar. Hasil pegujian desak beton setelah dibakar memperlihatkan nilai kuat desak yang semakin turun sesuai dengan bertambahnya suhu pembakaran. Hal ini dapat dilihat pada prosentase penurunan kuat desak yang digambarkan pada gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran

Dari gambar 5.7 dapat dilihat prosentase penurunan kuat desak yang tajam pada pembakaran dengan suhu 600°C . Berbeda dengan hasil pengujian beton yang dibakar pada suhu 100°C dan 300°C , dimana prosentase penurunan kuat desak beton yang terjadi tidak begitu drastis.

Grafik 5.7 merupakan grafik prosentase penurunan kuat desak yang diambil dari data pengujian setelah dilakukan analisa regresi (lampiran 12, 13, 14). Hasil pengamatan visual terhadap beton yang diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C , keadaan beton hancur sebagian dengan jumlah agregat pecah lebih besar dari pada agregat yang terlepas.

Agregat yang mengalami lepas adalah agregat yang terletak diluar (dekat permukaan), sedangkan agregat yang pecah adalah yang letaknya dibagian yang retak atau hancur yaitu bagian tengah beton.

Perbandingan jumlah agregat pecah dan terlepas ini menunjukkan lekatan antara agregat dengan pasta semen masih baik. Agregat yang mengalami lepas pada saat uji desak disebabkan oleh hilangnya lekatan antara pasta semen dengan agregat

Perbedaan kondisi ini terjadi karena bagian yang luar menerima panas yang lebih besar sehingga terjadi kehilangan air. Ini menyebabkan penyusutan dan kalsium karbonatnya pada pasta semen terdekarbonisasi menjadi bentuk kalsium oksida yang ikatannya lemah dan berwarna keputihan. Bagian yang lebih dalam menerima panas yang lebih sedikit sehingga yang terjadi hanya kehilangan air dan panas yang diterima dipakai sebagai tambahan energi untuk melaksanakan proses hidrasi yang belum sempurna dibagian dalam.

Untuk beton yang diuji setelah dibakar 300° C, keadaan beton hancur sebagian besar. Kondisi masih seperti pada beton yang dibakar pada suhu 100° C, yaitu kerikil yang pecah lebih banyak dari pada yang lepas. Pada beton yang diuji setelah dibakar pada suhu 600° C, beton hancur dengan kondisi agregat lepas lebih banyak dari pada agregat yang pecah.

Penyebab kejadian tersebut adalah suhu yang lebih tinggi masuk kebagian dalam dan tidak hanya menghilangkan kadar air, akan tetapi juga menyebabkan kalsium karbonat pada pasta semen yang lebih di dalam terkarbonisasi. Akibatnya kekuatan lekat antara pasta semen dan agregat berkurang bahkan hilang.

5.2.4 Kekuatan Lentur Beton

Perhitungan lentur direncanakan dengan perencanaan secara sederhana berupa beam dengan P maksimum yang diuraikan dengan kuat desak beton karakteristik yang direncanakan yaitu sebesar 40 Mpa. Dari perhitungan perencanaan benda uji didapatkan kuat lentur rencana (M_r) sebesar $\frac{1}{4} P \cdot L$.

$$f'c = P/A \quad A = 150 \times 450 = 67500 \text{ mm}^2$$

$$f'c = 40 \text{ Mpa} \quad P_{\text{max}} = 67500 \times 40 = 2700 \text{ kN}$$

$$M_r = \frac{1}{4} P \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 2700 \times 45 = 121500 \text{ kNm}$$

$$= 1215 \text{ KNm}$$

Kuat desak beton karakteristik direncanakan sebesar 41,48 Mpa. Pengujian lentur terhadap benda uji yang dibuat menghasilkan kuat lentur aktual sebesar sebagai berikut :

$$\text{variasi I} = 46,2156 \text{ Mpa.}$$

$$\text{variasi II} = 41,3005 \text{ Mpa.}$$

$$\text{variasi III} = 47,5077 \text{ Mpa.}$$

P maks yang mampu dipikul adalah sebagai berikut :

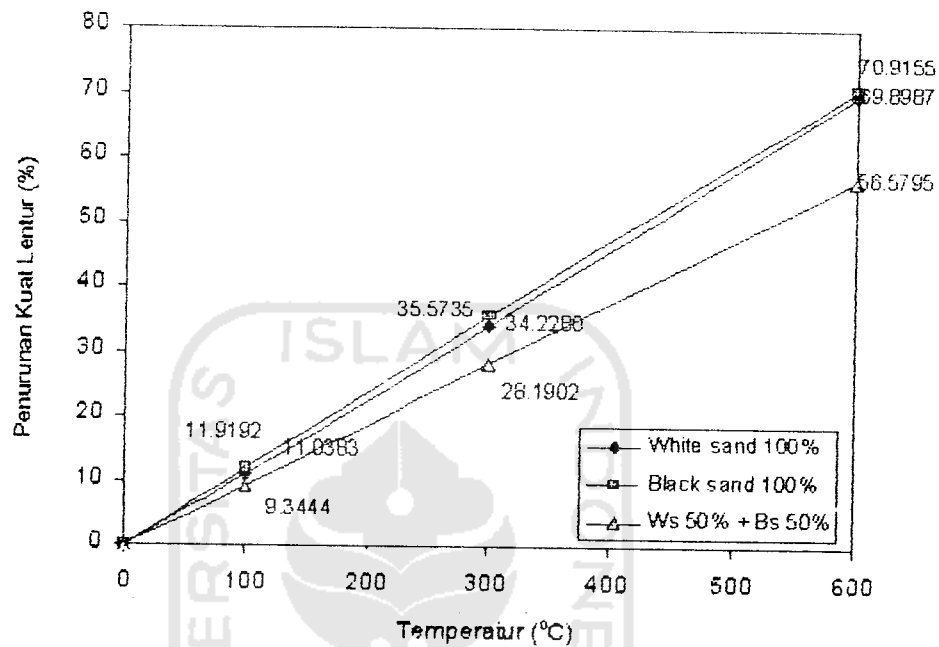
$$\text{variasi I} = 3100 \text{ KN/m,}$$

$$\text{variasi II} = 2800 \text{ KN/m,}$$

$$\text{variasi III} = 3228,3 \text{ KN/m.}$$

Pada uji lentur ini diketahui bahwa pemurunan kuat lentur yang paling rendah terjadi pada campuran III yaitu campuran pasir putih 50 % + pasir hitam 50 %, sedangkan yang paling besar terjadi pada campuran II yaitu campuran pasir hitam 100 %

Besarnya prosentase penurunan kuat lentur setelah pembakaran dapat dilihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran

Penurunan kuat lentur yang terjadi pada hasil pengujian disebabkan oleh turunnya kuat desak beton akibat terkena panas. Dari grafik 5.8 diatas terlihat bahwa pada balok yang terbakar pada suhu 600 ° C terjadi penurunan kuat lentur yang tajam, sedangkan pada pembakaran suhu 100 ° C dan 300 ° C penurunan yang terjadi relatif kecil. Prosentase kuat lentur yang terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan prosentase penurunan kuat desak beton yang dibakar dengan suhu dan lama pembakaran yang sama. Dengan mengetahui besarnya penurunan kuat lentur yang terjadi maka dapat diambil suatu keputusan yang tepat terhadap bangunan dengan struktur beton yang mengalami pembakaran. Kuat lentur yang terjadi pada balok beton yang dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C memperlihatkan penurunan yang tidak begitu besar, sehingga pada kasus seperti ini

konstruksi beton masih dapat dipertahankan meskipun harus diperhitungkan pemakaian beban yang lebih kecil dari beban rencana semula.

