

## BAB VI

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 6.1 Hasil penelitian

##### 6.1.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian terhadap material komponen penyusun campuran dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat material yang akan digunakan pada campuran LASTON. Material-material yang diuji adalah aspal, agregat kasar dan agregat halus.

Jenis pengujian laboratorium yang dikerjakan untuk mengevaluasi material dan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 6.1 sampai 6.5 berikut ini.

Tabel 6.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Clereng

| No. | Jenis Pengujian                             | Hasil  | Syarat     | Keterangan |
|-----|---|--------|------------|------------|
| 1.  | Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%) | 36,6   | $\leq 40$  | Memenuhi   |
| 2.  | Kelekatan terhadap aspal (%)                | 98     | $\geq 95$  | Memenuhi   |
| 3.  | Penyerapan air (%)                          | 1,189  | $\leq 3$   | Memenuhi   |
| 4.  | Berat jenis <i>bulk</i>                     | 2,6199 | $\geq 2,5$ | Memenuhi   |

Sumber : Hasil pemeriksaan di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 5, 6, 31)

Tabel 6.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Clereng

| No. | Jenis Pengujian             | Hasil | Syarat     | Keterangan |
|-----|-----------------------------|-------|------------|------------|
| 1.  | <i>Sand Equivalent</i> (%)  | 82,98 | $\geq 50$  | Memenuhi   |
| 2.  | Penyerapan air (%)          | 1,42  | $\leq 3$   | Memenuhi   |
| 3.  | Berat jenis <i>bulk</i> (%) | 2,62  | $\geq 2,5$ | Memenuhi   |

Sumber : Hasil pemeriksaan di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 3, 9)

Tabel 6.3. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Cepu

| No. | Jenis Pengujian                             | Hasil  | Syarat     | Keterangan |
|-----|---|--------|------------|------------|
| 1.  | Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%) | 21,776 | $\leq 40$  | Memenuhi   |
| 2.  | Kelekatan terhadap aspal (%)                | 97     | $\geq 95$  | Memenuhi   |
| 3.  | Penyerapan air (%)                          | 2,155  | $\leq 3$   | Memenuhi   |
| 4.  | Berat jenis <i>bulk</i>                     | 2,578  | $\geq 2,5$ | Memenuhi   |

Sumber : Hasil pemeriksaan di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 2,7,32)

Tabel 6.4. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Cepu

| No. | Jenis Pengujian             | Hasil  | Syarat     | Keterangan |
|-----|-----------------------------|--------|------------|------------|
| 1.  | <i>Sand Equivalent</i> (%)  | 98,075 | $\geq 50$  | Memenuhi   |
| 2.  | Penyerapan air (%)          | 2,459  | $\leq 3$   | Memenuhi   |
| 3.  | Berat jenis <i>bulk</i> (%) | 2,652  | $\geq 2,5$ | Memenuhi   |

Sumber : Hasil pemeriksaan di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 8,3)

Tabel 6.5. Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60 – 70

| No. | Jenis Pengujian  | Hasil | Syarat     | Keterangan |
|-----|--|-------|------------|------------|
| 1.  | Penetrasi (25°C, 5 dt, 100 gr)                         | 67,5  | 60 – 70    | Memenuhi   |
| 2.  | Titik lembek ( <i>ring and ball</i> ) °C               | 52,5  | 48 – 58    | Memenuhi   |
| 3.  | Titik nyala °C   | 332   | $\geq 200$ | Memenuhi   |
| 4.  | Kelarutan (CCL <sub>4</sub> atau CS <sub>2</sub> ) (%) | 99,39 | $\geq 99$  | Memenuhi   |
| 5.  | Daktalitas (25 %, 5 cm/menit) (cm)                     | 165   | $\geq 100$ | Memenuhi   |
| 6.  | Berat Jenis (25°C)                                     | 1,067 | $\geq 1$   | Memenuhi   |

Sumber : Hasil pemeriksaan di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 3, 28, 30, 27, 26, 29)

### 6.1.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum dalam campuran dilakukan dengan cara melakukan tes *Marshall* di laboratorium terhadap beberapa benda uji dengan

variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5 % yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Untuk semua campuran agregat, yaitu campuran agregat kasar + halus Clereng, campuran agregat kasar + halus Cepu, campuran agregat Kasar Clereng + agregat halus Cepu, dan campuran agregat kasar Cepu + agregat halus Clereng. Hasil tes *Marshall* meliputi nilai *density*, stabilitas, *flow*, VITM, VMA, VFWA, dan *Marshall Quotient* dapat dilihat pada tabel 6.6 sampai 6.9, kemudian hasil dari tabel digambarkan dan dapat dilihat pada gambar 6.1 sampai 6.7 untuk menentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum menurut Bina Marga (1987) adalah kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran meliputi stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, VITM, VMA, dengan kadar aspal yang diinginkan. Berdasarkan perhitungan secara grafis kadar aspal optimum dapat dilihat pada tabel 6.10 sampai 6.13

Tabel 6.6. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Masing-Masing Kadar Aspal Agregat Kasar + Halus Clereng

| Kadar Aspal (%)<br>(1) | Density (gr/cc)<br>(2) | Stabilitas (Kg)<br>(3) | Flow (mm)<br>(4) | VITM (%)<br>(5) | VMA (%)<br>(6) | VFWA (%)<br>(7) | MQ (Kg/mm)<br>(8) |          |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|----------|
| 5                      | I                      | 2,33                   | 1234,77          | 1,50            | 4,55           | 15,44           | 70,77             | 823,180  |
|                        | II                     | 2,32                   | 1284,58          | 1,60            | 4,98           | 15,82           | 68,75             | 802,863  |
|                        | III                    | 2,34                   | 1229,93          | 1,10            | 4,40           | 15,32           | 71,46             | 1118,119 |
| <b>Rata-rata</b>       | <b>2,33</b>            | <b>1249,76</b>         | <b>1,40</b>      | <b>4,64</b>     | <b>15,53</b>   | <b>70,33</b>    | <b>914,721</b>    |          |
| 5,5                    | I                      | 2,33                   | 1333,98          | 1,90            | 3,82           | 15,82           | 76,07             | 702,096  |
|                        | II                     | 2,34                   | 1476,29          | 1,90            | 3,55           | 15,59           | 77,40             | 776,996  |
|                        | III                    | 2,35                   | 1310,75          | 1,95            | 3,26           | 15,33           | 78,94             | 672,182  |
| <b>Rata-rata</b>       | <b>2,34</b>            | <b>1373,68</b>         | <b>1,92</b>      | <b>3,54</b>     | <b>15,58</b>   | <b>77,47</b>    | <b>717,091</b>    |          |
| I                      | 2,34                   | 1353,11                | 2,19             | 2,78            | 15,92          | 82,77           | 617,861           |          |

Lanjutan Tabel 6.6.

|                    | (1)              | (2)            | (3)            | (4)          | (5)          | (6)          | (7)              | (8)            |
|--------------------|------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------------------|----------------|
| 6                  | II               | 2,34           | 1369,74        | 2,25         | 2,72         | 15,88        | 83,05            | 608,773        |
|                    | III              | 2,34           | 1293,66        | 2,20         | 2,73         | 15,88        | 83,03            | 588,029        |
|                    | <b>Rata-rata</b> | <b>2,34</b>    | <b>1338,84</b> | <b>2,21</b>  | <b>2,74</b>  | <b>15,89</b> | <b>82,95</b>     | <b>604,888</b> |
| 6,5                | I                | 2,35           | 1368,70        | 3,00         | 1,77         | 16,07        | 89,16            | 456,233        |
|                    | II               | 2,34           | 1271,22        | 2,60         | 2,33         | 16,55        | 86,10            | 488,932        |
|                    | III              | 2,34           | 1253,44        | 2,50         | 2,19         | 16,43        | 86,83            | 501,376        |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,34</b>      | <b>1297,79</b> | <b>2,70</b>    | <b>2,10</b>  | <b>16,35</b> | <b>87,36</b> | <b>482,180</b>   |                |
| 7                  | I                | 2,36           | 1335,41        | 4,10         | 0,95         | 16,38        | 94,37            | 325,709        |
|                    | II               | 2,34           | 1261,15        | 3,10         | 1,82         | 17,11        | 89,55            | 406,824        |
|                    | III              | 2,33           | 1265,06        | 3,20         | 2,03         | 17,28        | 88,45            | 395,331        |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,34</b>      | <b>1287,21</b> | <b>3,47</b>    | <b>1,60</b>  | <b>16,92</b> | <b>90,79</b> | <b>375,954</b>   |                |
| <b>spesifikasi</b> | -                | <b>≥ 550</b>   | <b>2 - 4</b>   | <b>3 - 5</b> | <b>≥ 15</b>  | -            | <b>200 - 350</b> |                |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 34)

Tabel 6.7. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Masing-Masing Kadar Aspal Agregat Kasar + Halus Cepu

| Kadar Aspal (%)  | Density (gr/cc) | Stabilitas (Kg) | Flow (mm)   | VITM (%)    | VMA (%)      | VFWA (%)     | MQ (Kg/mm)      |          |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|----------|
| (1)              | (2)             | (3)             | (4)         | (5)         | (6)          | (7)          | (8)             |          |
| 5                | I               | 2,30            | 1085,63     | 1,00        | 5,77         | 15,17        | 71,14           | 1085,626 |
|                  | II              | 2,30            | 1197,24     | 1,10        | 5,95         | 15,33        | 70,23           | 1088,403 |
|                  | III             | 2,30            | 1117,45     | 1,20        | 6,03         | 15,40        | 69,84           | 931,209  |
| <b>Rata-rata</b> | <b>2,30</b>     | <b>1133,44</b>  | <b>1,10</b> | <b>5,92</b> | <b>15,30</b> | <b>70,40</b> | <b>1035,079</b> |          |
| 5,5              | I               | 2,32            | 1260,43     | 1,70        | 4,58         | 15,12        | 78,93           | 741,430  |
|                  | II              | 2,31            | 1210,12     | 1,30        | 4,89         | 15,40        | 77,24           | 930,862  |
|                  | III             | 2,31            | 1159,72     | 1,25        | 4,94         | 15,45        | 76,98           | 927,775  |
| <b>Rata-rata</b> | <b>2,31</b>     | <b>1210,09</b>  | <b>1,42</b> | <b>4,80</b> | <b>15,32</b> | <b>77,72</b> | <b>866,689</b>  |          |
| I                | 2,32            | 1321,26         | 1,90        | 3,78        | 15,44        | 84,49        | 695,401         |          |

Lanjutan Tabel 6.7.

| (1)                | (2)         | (3)            | (4)          | (5)          | (6)          | (7)          | (8)              |         |
|--------------------|-------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------|
| 6                  | II          | 2,32           | 1208,60      | 2,00         | 3,81         | 15,46        | 84,35            | 604,298 |
|                    | III         | 2,32           | 1245,76      | 1,50         | 3,92         | 15,56        | 83,68            | 830,508 |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,32</b> | <b>2,32</b>    | <b>1,80</b>  | <b>3,84</b>  | <b>15,48</b> | <b>84,17</b> | <b>710,069</b>   |         |
| 6,5                | I           | 2,32           | 1362,47      | 2,50         | 2,96         | 15,73        | 89,97            | 544,986 |
|                    | II          | 2,32           | 1340,55      | 2,60         | 3,29         | 16,01        | 88,09            | 515,594 |
|                    | III         | 2,33           | 1243,97      | 2,70         | 2,81         | 15,60        | 90,87            | 460,731 |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,32</b> | <b>1311,22</b> | <b>2,60</b>  | <b>3,02</b>  | <b>15,78</b> | <b>89,64</b> | <b>507,104</b>   |         |
| 7                  | I           | 2,33           | 1291,76      | 2,80         | 2,25         | 16,12        | 94,61            | 461,344 |
|                    | II          | 2,33           | 1338,02      | 2,80         | 1,87         | 15,80        | 96,92            | 477,865 |
|                    | III         | 2,31           | 1131,26      | 2,90         | 2,93         | 16,71        | 90,66            | 390,091 |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,32</b> | <b>1253,68</b> | <b>2,83</b>  | <b>2,35</b>  | <b>16,21</b> | <b>94,06</b> | <b>443,100</b>   |         |
| <b>Spesifikasi</b> | -           | <b>≥ 550</b>   | <b>2 - 4</b> | <b>3 - 5</b> | <b>≥ 15</b>  | -            | <b>200 - 350</b> |         |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 35)

Tabel 6.8. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Masing-Masing Kadar Aspal Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

| Kadar Aspal (%)  | Density (gr/cc) | Stabilitas (Kg) | Flow (mm)   | VITM (%)    | VMA (%)      | VFWA (%)     | MC (Kg/mm)     |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| (1)              | (2)             | (3)             | (4)         | (5)         | (6)          | (7)          | (8)            |
| 5                | I               | 2,36            | 1080,83     | 1,10        | 4,15         | 14,60        | 982,570        |
|                  | II              | 2,32            | 1078,88     | 1,30        | 5,52         | 15,82        | 829,904        |
|                  | III             | 2,32            | 1049,53     | 1,20        | 5,69         | 15,98        | 874,608        |
| <b>Rata-rata</b> | <b>2,33</b>     | <b>1069,74</b>  | <b>1,20</b> | <b>5,12</b> | <b>15,47</b> | <b>70,76</b> | <b>895,694</b> |
| 5,5              | I               | 2,35            | 1104,77     | 1,90        | 3,59         | 15,14        | 581,457        |
|                  | II              | 2,36            | 1073,74     | 2,00        | 3,32         | 14,90        | 536,869        |
|                  | III             | 2,35            | 1088,29     | 1,95        | 3,61         | 15,16        | 558,099        |
| <b>Rata-rata</b> | <b>2,35</b>     | <b>1088,93</b>  | <b>1,95</b> | <b>3,51</b> | <b>15,07</b> | <b>80,56</b> | <b>558,808</b> |

Lanjutan Tabel 6.8.

| (1)                |     | (2)         | (3)            | (4)          | (5)          | (6)          | (7)          | (8)              |
|--------------------|-----|-------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| 6                  | I   | 2,35        | 1043,20        | 2,05         | 2,93         | 15,59        | 84,88        | 508,878          |
|                    | II  | 2,37        | 1062,44        | 2,15         | 2,29         | 15,03        | 88,60        | 439,799          |
|                    | III | 2,36        | 994,48         | 2,15         | 2,49         | 15,21        | 87,40        | 441,075          |
| <b>Rata-rata</b>   |     | <b>2,36</b> | <b>1033,37</b> | <b>2,12</b>  | <b>2,57</b>  | <b>15,27</b> | <b>86,96</b> | <b>463,251</b>   |
| 6,5                | I   | 2,38        | 1019,42        | 2,50         | 1,34         | 15,23        | 94,99        | 380,097          |
|                    | II  | 2,36        | 994,83         | 2,60         | 1,90         | 15,71        | 91,59        | 352,775          |
|                    | III | 2,36        | 1027,02        | 2,70         | 2,15         | 15,93        | 90,09        | 335,782          |
| <b>Rata-rata</b>   |     | <b>2,36</b> | <b>1013,75</b> | <b>2,60</b>  | <b>1,80</b>  | <b>15,62</b> | <b>92,22</b> | <b>356,218</b>   |
| 7                  | I   | 2,36        | 1002,16        | 3,00         | 1,29         | 16,21        | 95,54        | 298,260          |
|                    | II  | 2,35        | 1019,07        | 2,90         | 1,77         | 16,61        | 92,77        | 302,085          |
|                    | III | 2,34        | 1009,09        | 2,95         | 1,97         | 16,79        | 91,62        | 294,248          |
| <b>Rata-rata</b>   |     | <b>2,35</b> | <b>1010,11</b> | <b>2,95</b>  | <b>1,68</b>  | <b>16,54</b> | <b>93,31</b> | <b>298,198</b>   |
| <b>Spesifikasi</b> |     | -           | <b>≥ 550</b>   | <b>2 - 4</b> | <b>3 - 5</b> | <b>≥ 15</b>  | -            | <b>200 - 350</b> |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 37)

Tabel 6.9. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Masing-Masing Kadar Aspal Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

| Kadar Aspal (%)  | Density (gr/cc) | Stabilitas (Kg) | Flow (mm)      | VITM (%)    | VMA (%)     | VFWA (%)     | MQ (Kg/mm)   |                |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| (1)              | (2)             | (3)             | (4)            | (5)         | (6)         | (7)          | (8)          |                |
| 5                | I               | 2,29            | 993,25         | 1,20        | 5,89        | 15,79        | 67,83        | 827,708        |
|                  | II              | 2,28            | 981,06         | 1,25        | 6,15        | 16,03        | 66,64        | 784,846        |
|                  | III             | 2,32            | 1038,80        | 1,30        | 4,63        | 14,66        | 74,02        | 799,079        |
| <b>Rata-rata</b> |                 | <b>2,29</b>     | <b>1004,37</b> | <b>1,25</b> | <b>5,56</b> | <b>15,49</b> | <b>69,50</b> | <b>803,878</b> |
| 5,5              | I               | 2,30            | 1081,92        | 1,70        | 4,57        | 15,63        | 75,93        | 636,425        |
|                  | II              | 2,30            | 1070,24        | 1,75        | 4,75        | 15,78        | 75,03        | 611,568        |
|                  | III             | 2,31            | 1196,99        | 1,70        | 4,04        | 15,16        | 78,72        | 704,109        |
| <b>Rata-rata</b> |                 | <b>2,30</b>     | <b>1116,38</b> | <b>1,72</b> | <b>4,45</b> | <b>15,52</b> | <b>76,56</b> | <b>650,701</b> |

Lanjutan Tabel 6.9.

| (1)                | (2)         | (3)            | (4)          | (5)          | (6)          | (7)          | (8)              |         |
|--------------------|-------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------|
| 6                  | I           | 2,32           | 1125,59      | 2,10         | 3,36         | 15,57        | 83,63            | 535,996 |
|                    | II          | 2,32           | 1300,20      | 2,20         | 3,22         | 15,45        | 84,42            | 590,999 |
|                    | III         | 2,32           | 1304,10      | 2,15         | 3,26         | 15,48        | 84,18            | 606,560 |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,32</b> | <b>1243,30</b> | <b>2,15</b>  | <b>3,28</b>  | <b>15,50</b> | <b>84,08</b> | <b>577,852</b>   |         |
| 6,5                | I           | 2,34           | 1294,65      | 2,75         | 1,55         | 15,01        | 95,12            | 470,782 |
|                    | II          | 2,32           | 1301,50      | 2,85         | 2,36         | 15,71        | 90,11            | 456,667 |
|                    | III         | 2,34           | 1253,89      | 2,80         | 1,86         | 15,28        | 93,15            | 447,819 |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,33</b> | <b>1283,35</b> | <b>2,80</b>  | <b>1,92</b>  | <b>15,33</b> | <b>92,79</b> | <b>458,422</b>   |         |
| 7                  | I           | 2,34           | 1099,97      | 3,00         | 0,98         | 15,53        | 98,94            | 366,658 |
|                    | II          | 2,34           | 1239,51      | 3,05         | 1,00         | 15,55        | 98,80            | 406,396 |
|                    | III         | 2,34           | 1120,15      | 3,10         | 0,93         | 15,49        | 99,23            | 361,338 |
| <b>Rata-rata</b>   | <b>2,34</b> | <b>1153,21</b> | <b>3,05</b>  | <b>0,97</b>  | <b>15,52</b> | <b>98,99</b> | <b>378,130</b>   |         |
| <b>Spesifikasi</b> | -           | <b>≥ 550</b>   | <b>2 - 4</b> | <b>3 - 5</b> | <b>≥ 15</b>  | -            | <b>200 - 350</b> |         |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 36)

Tabel 6.10. Penentuan Kadar Aspal Optimum Secara Grafis Agregat Kasar + Halus Clereng

| Data Marshall Test         | Syarat    | Kadar Aspal (%) |      |       |     |   |
|----------------------------|-----------|-----------------|------|-------|-----|---|
|                            |           | 5               | 5,5  | 6     | 6,5 | 7 |
| Stabilitas minimal (Kg)    | ≥ 550     | █               |      |       |     |   |
| Kelelahan (mm)             | 2 - 4     | █               |      |       |     |   |
| Marshall Quotient (Kg/mm)  | 200 - 350 | █               |      |       |     |   |
| VITM (%)                   | 3 - 5     | █               |      |       |     |   |
| VMA (%)                    | ≥ 15      | █               |      |       |     |   |
| <b>Kadar Aspal Optimum</b> |           |                 | 5,60 | 5,825 |     |   |
|                            |           |                 | 5,71 |       |     |   |

Sumber : Hasil Penelitian dan grafik 6.2, 6.4, s.d 6.7

Tabel 6.11. Penentuan Kadar Aspal Optimum Secara Grafis Agregat Kasar + Halus Cepu

| Data <i>Marshall Test</i>        | Syarat     | Kadar Aspal (%) |     |      |      |       |
|----------------------------------|------------|-----------------|-----|------|------|-------|
|                                  |            | 5               | 5,5 | 6    | 6,5  | 7     |
| Stabilitas minimal (Kg)          | $\geq 550$ | █               |     |      |      |       |
| Kelelahan (mm)                   | 2 – 4      |                 |     | █    |      |       |
| <i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm) | 200 – 350  |                 |     | █    |      |       |
| VITM (%)                         | 3 – 5      | █               |     |      |      |       |
| VMA (%)                          | $\geq 15$  | █               |     |      |      |       |
| Kadar Aspal Optimum              |            |                 |     | 6,15 | 6,50 | 6,338 |

Sumber : Hasil Penelitian dan grafik 6.2, 6.4, s.d 6.7

Tabel 6.12. Penentuan Kadar Aspal Optimum Secara Grafis Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

| Data <i>Marshall Test</i>        | Syarat     | Kadar Aspal (%) |      |      |      |   |
|----------------------------------|------------|-----------------|------|------|------|---|
|                                  |            | 5               | 5,5  | 6    | 6,5  | 7 |
| Stabilitas minimal (Kg)          | $\geq 550$ | █               |      |      |      |   |
| Kelelahan (mm)                   | 2 – 4      |                 | █    |      |      |   |
| <i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm) | 200 – 350  |                 | █    |      |      |   |
| VITM (%)                         | 3 – 5      | █               |      |      |      |   |
| VMA (%)                          | $\geq 15$  | █               |      |      |      |   |
| Kadar Aspal Optimum              |            |                 | 5,60 | 5,75 | 5,68 |   |

Sumber : Hasil Penelitian dan grafik 6.2, 6.4, s.d 6.7



Tabel 6.13. Penentuan Kadar Aspal Optimum Secara Grafis Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

| Data <i>Marshall Test</i>        | Syarat     | Kadar Aspal (%) |     |      |      |     |
|----------------------------------|------------|-----------------|-----|------|------|-----|
|                                  |            | 5               | 5,5 | 6    | 6,5  | 7   |
| Stabilitas minimal (Kg)          | $\geq 550$ | █               |     |      |      |     |
| Kelelahan (mm)                   | 2 – 4      | █               |     |      |      |     |
| <i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm) | 200 – 350  | █               |     |      |      |     |
| VITM (%)                         | 3 – 5      | █               |     |      |      |     |
| VMA (%)                          | $\geq 15$  | █               |     |      |      |     |
| Kadar Aspal Optimum              |            |                 |     | 5,85 | 6,15 | 6,0 |

Sumber : Hasil Penelitian dan grafik 6.2, 6.4, s.d 6.7

Dari hasil tersebut diatas, kemudian digunakan dalam campuran untuk pengujian *Immersion test* (perendaman 30 menit dan 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C) dan hasilnya seperti tercantum dalam tabel 6.14. sampai 6.17.

Tabel 6.14. Hasil Pengujian *Immersion* Agregat Kasar + Halus Clereng

| Karakteristik<br><i>Marshall</i> | 30 menit |          |          | 24 jam  |         |         |
|----------------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
|                                  | Sampel   |          |          | Sampel  |         |         |
|                                  | 1        | 2        | 3        | 1       | 2       | 3       |
| Density (gr/cc)                  | 2,39     | 2,39     | 2,37     | 2,39    | 2,38    | 2,38    |
| VMA (%)                          | 14,08    | 14,04    | 14,64    | 13,95   | 14,28   | 14,41   |
| VFWA (%)                         | 90,76    | 91,10    | 86,72    | 91,76   | 89,28   | 88,34   |
| VITM (%)                         | 1,33     | 1,28     | 1,98     | 1,18    | 1,56    | 1,71    |
| Stabilitas (Kg)                  | 1376,99  | 1328,88  | 1334,41  | 1304,51 | 1251,34 | 1292,18 |
| Flow (mm)                        | 1,45     | 1,20     | 1,15     | 2,60    | 1,44    | 2,80    |
| MQ (Kg/mm)                       | 949,646  | 1107,402 | 1160,360 | 501,736 | 868,987 | 461,494 |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 38)

Tabel 6.15. Hasil Pengujian *Immersion* Agregat Kasar + Halus Cepu

| Karakteristik<br><i>Marshall</i> | 30 menit |         |         | 24 jam  |         |         |
|----------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | Sampel   |         |         | Sampel  |         |         |
|                                  | 1        | 2       | 3       | 1       | 2       | 3       |
| Density (gr/cc)                  | 2,32     | 2,28    | 2,30    | 2,35    | 2,33    | 2,34    |
| VMA (%)                          | 15,61    | 17,26   | 16,34   | 14,76   | 15,34   | 14,98   |
| VFWA (%)                         | 88,41    | 78,39   | 83,68   | 94,38   | 90,19   | 92,82   |
| VITM (%)                         | 3,19     | 5,09    | 4,04    | 2,23    | 2,89    | 2,47    |
| Stabilitas (Kg)                  | 1265,65  | 1190,60 | 1327,98 | 1121,21 | 1094,16 | 1070,66 |
| Flow (mm)                        | 1,30     | 1,68    | 1,44    | 1,43    | 1,65    | 0,82    |
| MQ (Kg/mm)                       | 973,580  | 708,690 | 922,205 | 784,062 | 663,130 | 535,328 |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 39)

Tabel 6.16. Hasil Pengujian *Immersion* Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

| Karakteristik<br><i>Marshall</i> | 30 menit |          |          | 24 jam  |          |         |
|----------------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
|                                  | Sampel   |          |          | Sampel  |          |         |
|                                  | 1        | 2        | 3        | 1       | 2        | 3       |
| Density (gr/cc)                  | 2,37     | 2,37     | 2,38     | 2,38    | 2,36     | 2,34    |
| VMA (%)                          | 13,41    | 13,72    | 13,15    | 13,26   | 13,89    | 14,58   |
| VFWA (%)                         | 99,56    | 96,96    | 101,81   | 100,90  | 95,60    | 90,37   |
| VITM (%)                         | 0,89     | 1,25     | 0,60     | 0,71    | 1,44     | 2,22    |
| Stabilitas (Kg)                  | 1306,80  | 1263,83  | 1316,82  | 1047,76 | 1092,54  | 1035,72 |
| Flow (mm)                        | 0,90     | 0,90     | 0,90     | 1,38    | 1,09     | 3,01    |
| MQ (Kg/mm)                       | 1451,995 | 1404,250 | 1463,130 | 759,246 | 1002,331 | 344,093 |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 41)

Tabel 6.17. Hasil Pengujian *Immersion Test* Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

| Karakteristik<br><i>Marshall</i> | 30 menit |          |          | 24 jam   |         |         |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
|                                  | Sampel   |          |          | Sampel   |         |         |
|                                  | 1        | 2        | 3        | 1        | 2       | 3       |
| Density (gr/cc)                  | 2,35     | 2,35     | 2,27     | 2,32     | 2,34    | 2,25    |
| VMA (%)                          | 15,22    | 15,38    | 18,34    | 16,65    | 15,63   | 19,13   |
| VFWA (%)                         | 82,29    | 81,25    | 65,79    | 73,97    | 79,72   | 62,45   |
| VITM (%)                         | 3,27     | 3,46     | 6,83     | 4,90     | 3,75    | 7,74    |
| Stabilitas (Kg)                  | 1336,03  | 1277,94  | 1306,98  | 1249,10  | 1111,65 | 1110,16 |
| Flow (mm)                        | 1,85     | 1,05     | 1,12     | 1,07     | 2,57    | 2,32    |
| MQ (Kg/mm)                       | 722,179  | 1217,085 | 1166,946 | 1167,381 | 432,550 | 478,518 |

Sumber : Hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya FTSP, UII (Lampiran 40)

Tabel 6.18. Nilai Hasil Analisis Penelitian Kadar Aspal Optimum (KAO)

| Jenis Agregat |         | Aspal         | Nilai           |           |            |         |          |          |                 |
|---------------|---------|---------------|-----------------|-----------|------------|---------|----------|----------|-----------------|
| Kasar         | Halus   | KAO           | Stabilitas (kg) | flow (mm) | MQ (kg/mm) | VMA (%) | VITM (%) | VFWA (%) | Density (gr/cc) |
| Clereng       | Clereng | <b>5.713%</b> | 1370.00         | 2.05      | 670.00     | 15.70   | 3.20     | 80.00    | 2.343           |
| Cepu          | Cepu    | <b>6.338%</b> | 1305.00         | 2.37      | 574.00     | 15.67   | 3.30     | 88.00    | 2.321           |
| Cepu          | Clereng | <b>6.000%</b> | 1243.30         | 2.15      | 577.50     | 15.50   | 3.28     | 83.50    | 2.320           |
| Clereng       | Cepu    | <b>5.675%</b> | 1075.00         | 2.05      | 520.00     | 15.10   | 3.20     | 83.38    | 2.359           |

Sumber : Hasil analisis penelitian dan grafik 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8

Tabel 6.19. Persentase Penurunan dan Kenaikan Nilai Hasil Analisis Penelitian Kadar Aspal Optimum (KAO)

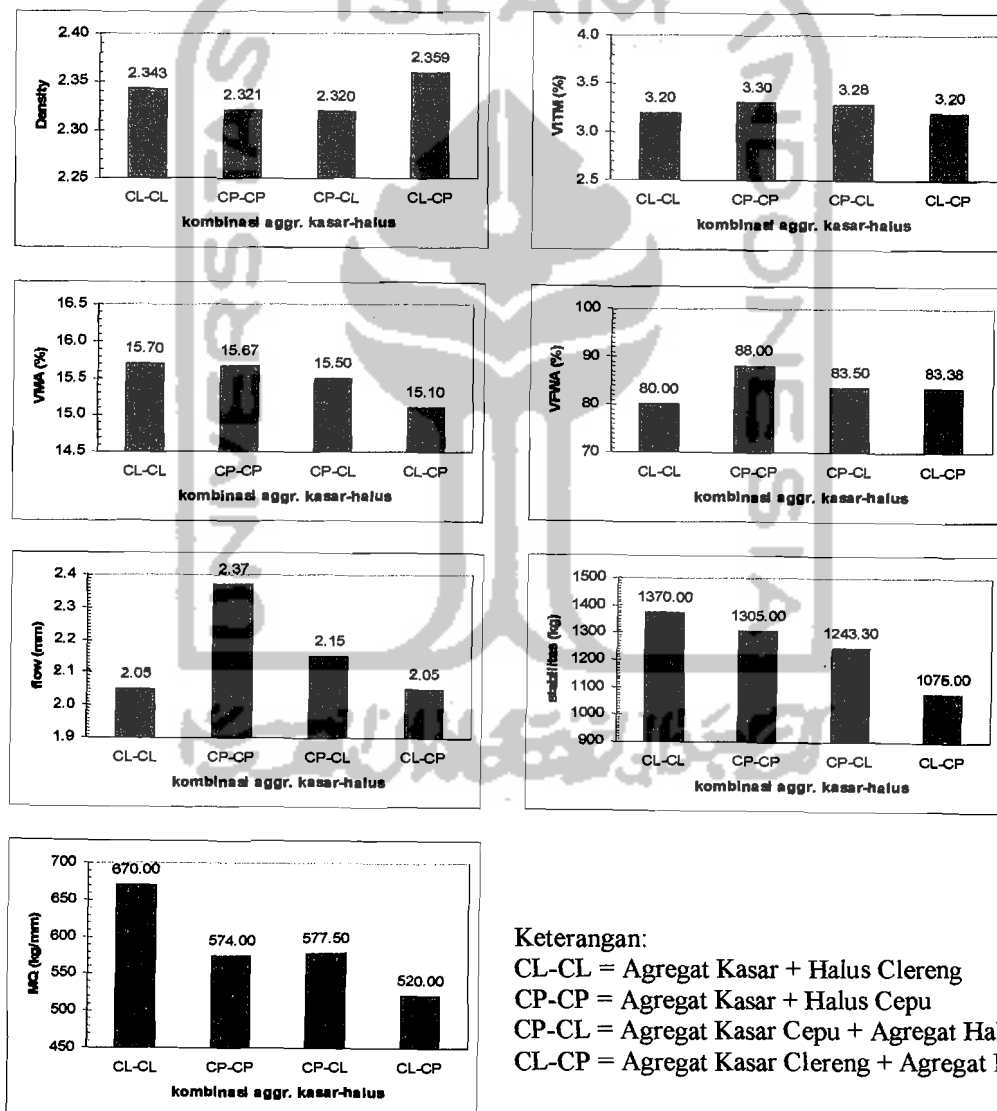
| Jenis Agregat |         | Aspal         | Persentase Penurunan dan Kenaikan Nilai |          |            |         |          |          |                 |
|---------------|---------|---------------|---|----------|------------|---------|----------|----------|-----------------|
| Kasar         | Halus   | KAO           | Stabilitas (%)                          | flow (%) | MQ (kg/mm) | VMA (%) | VITM (%) | VFWA (%) | Density (gr/cc) |
| Clereng       | Clereng | <b>5.713%</b> | 100.00                                  | 100.00   | 100.00     | 100.00  | 100.00   | 100.00   | 100.00          |
| Cepu          | Cepu    | <b>6.338%</b> | 95.26                                   | 115.61   | 85.67      | 99.81   | 103.13   | 110.00   | 99.061          |
| Cepu          | Clereng | <b>6.000%</b> | 90.75                                   | 104.88   | 86.19      | 98.73   | 102.50   | 104.38   | 99.018          |
| Clereng       | Cepu    | <b>5.675%</b> | 78.47                                   | 100.00   | 77.61      | 96.18   | 100.00   | 104.23   | 100.683         |

Sumber : Hasil analisis penelitian dan grafik 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8

Tabel 6.20. Selisih Persentase Penurunan dan Kenaikan Nilai Hasil Analisis Penelitian Kadar Aspal Optimum (KAO)

| Jenis Agregat |         | Aspal  | Selisih Persentase Penurunan dan Kenaikan Nilai |          |            |         |          |          |                 |
|---------------|---------|--------|---|----------|------------|---------|----------|----------|-----------------|
| Kasar         | Halus   | KAO    | Stabilitas (%)                                  | flow (%) | MQ (kg/mm) | VMA (%) | VITM (%) | VFWA (%) | Density (gr/cc) |
| Clereng       | Clereng | 5.713% | 0.00  | 0.00     | 0.00       | 0.00    | 0.00     | 0.00     | 0.000           |
| Cepu          | Cepu    | 6.338% | -4.74   | 15.61    | -14.33     | -0.19   | 3.12     | 10.00    | -0.94           |
| Cepu          | Clereng | 6.000% | -9.25   | 4.88     | -13.81     | -1.27   | 2.50     | 4.38     | -0.98           |
| Clereng       | Cepu    | 5.675% | -21.53  | 0.00     | -22.39     | -3.82   | 0.00     | 4.22     | 0.68            |

Sumber : Hasil analisis penelitian dan grafik 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8



Gambar 6.1 Nilai Uji Marshall untuk Kadar Aspal Optimum

Dari tabel 6.20 dapat dijelaskan besarnya persentase kenaikan dan penurunan nilai parameter-parameter *Marshall test*, pengaruh penggunaan agregat kasar dan agregat halus Cepu pada campuran beton aspal. Campuran beton aspal dengan bahan penyusun agregat kasar ditambah agregat halus Clereng (agregat Clereng murni) digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini, karena mempunyai kualitas yang lebih baik dari agregat kasar dan agregat halus Cepu. Untuk penjelasan lebih lanjut, dijelaskan dalam pembahasan sifat *Marshall*.

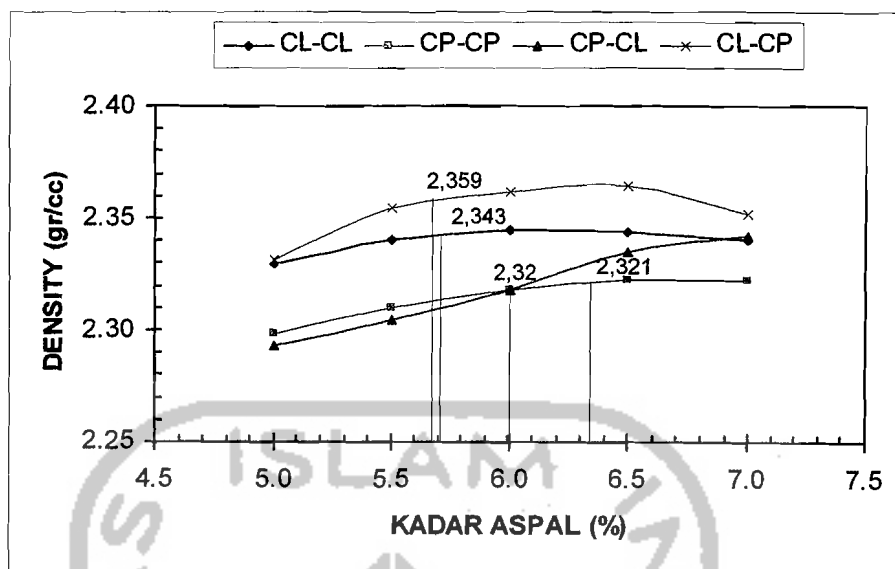
## **6.2 Pembahasan Sifat *Marshall***

### **6.2.1 *Marshall Properties* Standar**

#### **1. *Density***

Nilai kepadatan campuran (*density*) menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan nilai *density* tinggi cenderung akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang nilai *density*-nya rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya gradasi agregat, berat jenis agregat, faktor pemadatan, baik jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, dan penggunaan kadar aspal dalam campuran. Semakin tinggi kadar aspal dalam campuran sampai nilai tertentu mampu meningkatkan nilai *density*-nya untuk kemudian menurun. Nilai *density* yang tinggi menunjukkan campuran yang kompak dan rongga yang ada sedikit.

Dari hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik *density* yang ditunjukkan pada gambar 6.2 berikut ini.



Gambar 6.2 Grafik hubungan antara kadar aspal dengan *density*

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

Dari gambar 6.2 dapat dilihat bahwa nilai *density* campuran agregat Clereng + halus Cepu paling tinggi pada kadar aspal optimum, hal ini disebabkan agregat halus Cepu memiliki bentuk yang agak bulat, sehingga mudah mengisi rongga pada campuran, akibatnya rongga yang terkandung pada campuran menjadi rendah. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa agregat halus Cepu dapat meningkatkan nilai kepadatan (*density*) campuran.

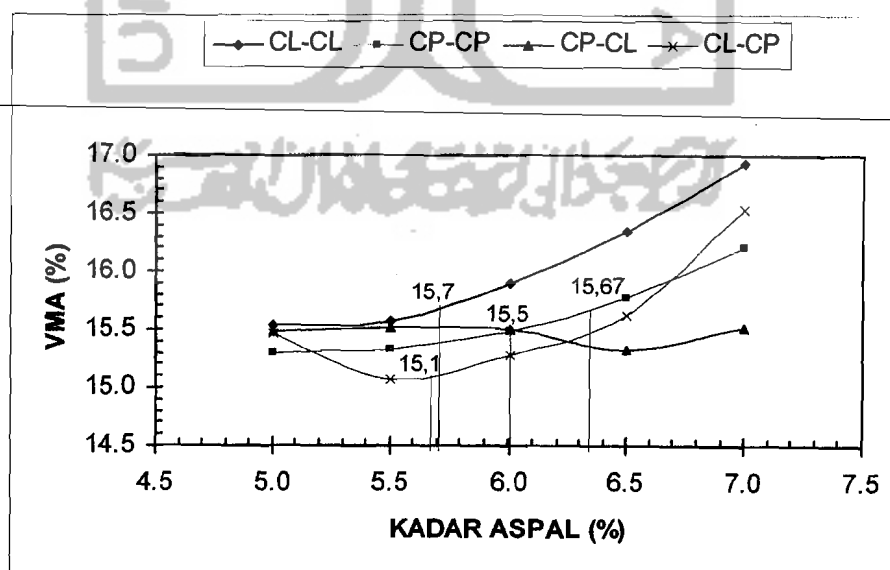
Penggunaan agregat kasar Cepu mempengaruhi penurunan nilai *density*, hal itu disebabkan agregat kasar Cepu yang berbentuk agak bulat dan permukaan yang kasar akan menimbulkan rongga yang besar, yang dapat di isi oleh air cukup besar. Dengan penggunaan agregat kasar Cepu, nilai stabilitas akan menurun, jika dibandingkan dengan campuran agregat Clereng murni.



Nilai *density* yang digunakan untuk persyaratan teknis lapangan, yaitu kepadatan lapangan tidak boleh kurang dari 96 % kepadatan laboratorium (Spesifikasi LASTON Bina Marga 1987).

## 2. VMA (*Void In Mineral Aggregate*)

VMA adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat suatu campuran beraspal padat, termasuk rongga yang terisi aspal efektif, dinyatakan dalam persen volume. Nilai VMA dapat juga dinyatakan sebagai rongga yang tersedia untuk ditempati volume aspal dan volume udara yang diperlukan dalam campuran agregat dan aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VMA antara lain gradasi agregat, tekstur permukaan, bentuk butiran, pemadatan, dan serapan air oleh agregat. Selain itu secara teoritis nilai VMA dipengaruhi atau berkaitan dengan kadar aspal, nilai *density* dan berat jenis agregat. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik VMA yang ditunjukkan pada gambar 6.3 berikut ini.



Gambar 6.3 Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VMA

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

Secara teoritis nilai VMA seharusnya akan turun kemudian akan naik dengan bertambahnya kadar aspal. Dari gambar 6.3 menunjukkan bahwa nilai VMA terus bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang menyebabkan film aspal lebih tebal, sehingga jarak antar agregat semakin besar.

Penggunaan agregat kasar Cepu dan agregat halus Cepu berpengaruh terhadap penurunan nilai VMA. Hal ini dikarenakan agregat kasar dan halus Cepu mempunyai penyerapan air cukup besar. Dilihat dari bentuknya, agregat kasar berbentuk agak bulat dan permukaannya kasar, sedangkan agregat halus Cepu berbentuk agak bulat dan licin yang mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat tipis, sehingga menghasilkan rongga yang kecil.

Spesifikasi Bina Marga 1987 mensyaratkan VMA untuk campuran berdasarkan ukuran nominal maksimal agregat, dalam hal ini  $\frac{1}{2}$  inchi dengan VMA minimal 15%.

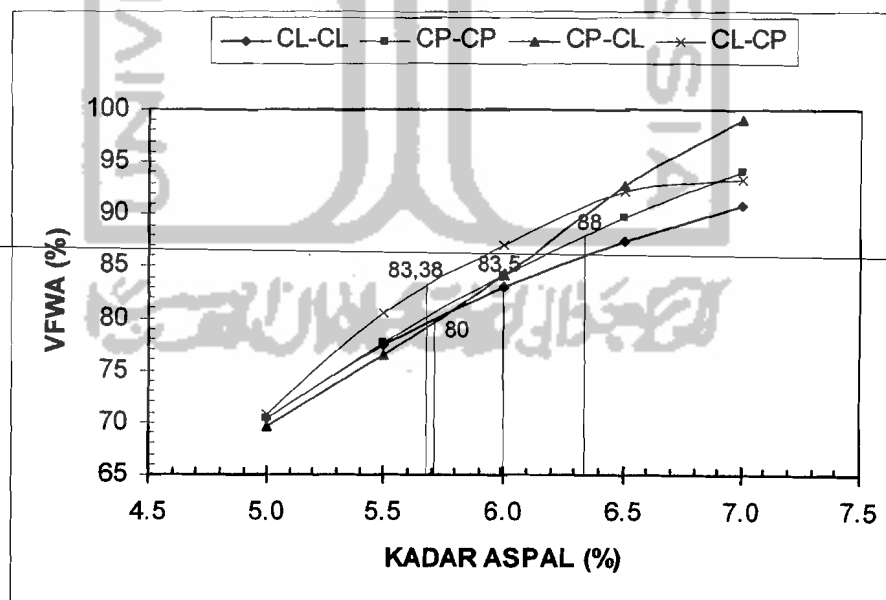
### **3. VFWA (*Void Filled With Asphalt*)**

Nilai VFWA menunjukkan banyaknya persen rongga yang ada dalam campuran terisi aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFWA adalah gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperatur pemadatan. Besarnya nilai VFWA berpengaruh pada kekedapan campuran terhadap air dan udara yang pada akhirnya akan berpengaruh pada keawetan suatu perkerasan. Secara teoritis nilai VFWA dipengaruhi oleh kadar aspal, *density*, berat jenis dan nilai VMA.



Nilai VFWA yang besar berarti semakin banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara menjadi lebih tinggi. Nilai VFWA yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya kegemukan atau naiknya aspal kepermukaan (*bleeding*). Hal ini disebabkan karena rongga yang ada terlalu kecil. Jika perkerasan menerima beban, terutama pada temperatur yang tinggi dan nilai viskositas aspal naik, maka sebagian aspal akan mencari tempat yang kosong dan jika rongga sudah penuh, maka aspal akan naik kepermukaan.

Nilai VFWA yang terlalu kecil akan menyebabkan lapisan kurang kedap terhadap air dan udara, karena banyak rongga yang kosong. Hal ini akan memudahkan air dan udara yang akan melarutkan bagian aspal yang teroksidasi tersebut. Sehingga keawetan campuran berkurang. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik VFWA yang ditunjukkan pada gambar 6.4.



Gambar 6.4 Grafik hubungan antara kadar aspal dan VFWA

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng  
CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

Dari gambar grafik 6.4 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal nilai VFWA akan semakin bertambah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beton aspal agregat kasar Cepu + agregat halus Cepu mempunyai nilai VFWA yang paling besar pada kadar aspal optimum. Hal ini dikarenakan agregat kasar Cepu dan halus Cepu yang berbentuk agak bulat juga memiliki kemampuan menyerap aspal yang besar, sehingga banyak rongga yang terisi aspal dan menghasilkan selimut aspal yang tebal. Dari data diatas dapat diketahui bahwa penggunaan agregat kasar maupun halus Cepu, baik pada campuran agregat kasar Cepu + agregat halus Clereng maupun agregat kasar Clereng + agregat halus Cepu memiliki peran yang dominan dalam menaikkan nilai VFWA.

Sesuai dengan petunjuk pelaksanaan lapis aspal dari Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga 1987 tidak ada batasan untuk nilai VFWA.

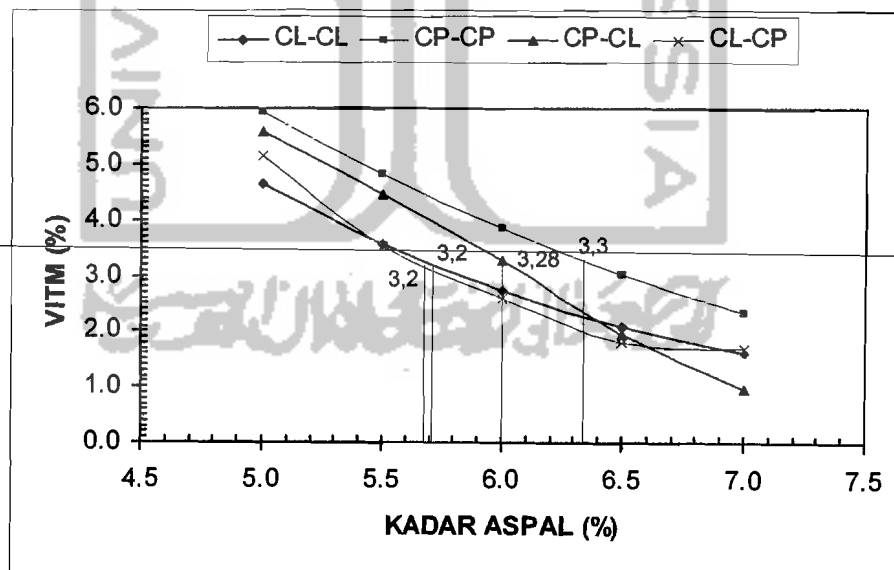
#### 4. VITM (*Void In Total Mix*)

Nilai VITM menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran, yang dinyatakan dalam persentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Persentase rongga yang disyaratkan oleh Bina Marga 1987 untuk campuran beton aspal adalah 3% - 5%. Beton aspal yang mempunyai VITM < 3% akan memperbesar kemungkinan terjadinya *bleeding*. Akibat naiknya temperatur, aspal dalam campuran akan mencair, sehingga saat perkerasan menerima beban aspal akan mengalir diantara rongga agregat. Sebaliknya jika nilai VITM > 5%

menunjukkan rongga yang terdapat didalam campuran besar, sehingga campuran berongga dan tidak kedap udara dan air, sehingga aspal mudah teroksidasi yang mengakibatkan sifat aspal berubah menjadi getas yang selanjutnya campuran aspal mudah patah akibat pembebanan.

Nilai VITM oleh Bina Marga mensyaratkan batas maksimum 5% dan batas minimum 3%, batas minimum tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan keawetan campuran dan untuk mencegah terjadinya deformasi plastis.

Dalam campuran harus tersedia cukup rongga yang terisi udara yang berfungsi untuk menyediakan ruang gerak bagi unsur-unsur dalam campuran sesuai dengan keelastisan bahan penyusunnya. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai garfik VITM seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.5 berikut ini.



Gambar 6.5 Grafik hubungan antara kadar aspal dan VITM

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

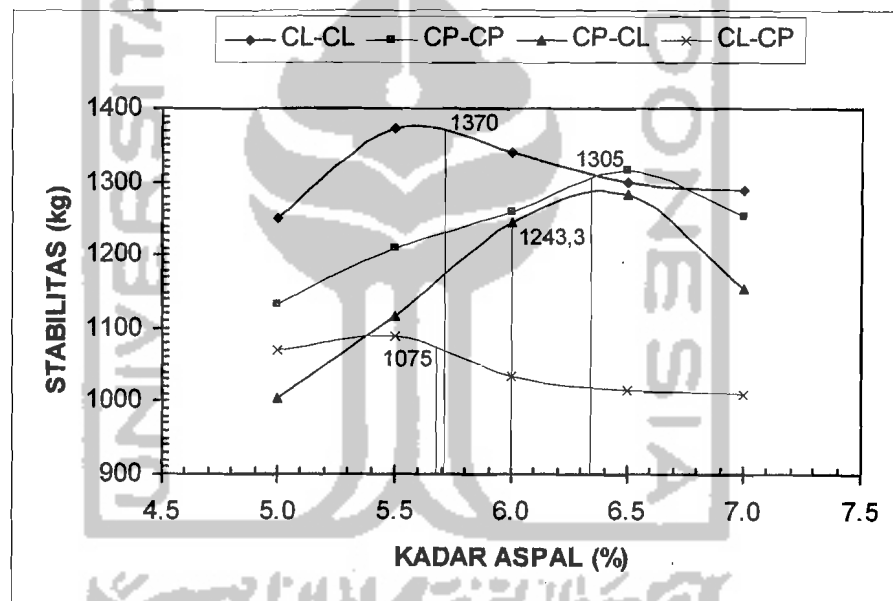
Dari hasil penelitian pada gambar 6.5, dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar aspal nilai VITM mengalami penurunan, karena rongga udara yang terisi aspal semakin besar dan memperkecil volume rongga udara. Secara teoritis nilai VITM juga dipengaruhi nilai *density* dan berat jenis maksimum (berat jenis aspal dan agregat dalam campuran).

Penurunan nilai VITM disebabkan karena dominasi agregat kasar maupun agregat halus Clereng, sedangkan penggunaan agregat halus Cepu tidak berperan banyak untuk menaikkan nilai VITM, hal ini dikarenakan porous (pori agregat) pada agregat halus Cepu lebih tinggi, sehingga menghasilkan rongga udara yang lebih besar. Penggunaan agregat kasar Cepu sangat dominan menaikkan nilai VITM, karena mempunyai penyerapan yang tinggi, sehingga menghasilkan rongga udara yang lebih besar.

## 5. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Pada pengujian *Marshall* di laboratorium, stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadinya kelelahan plastis yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Nilai stabilitas tergantung dari gaya saling mengunci antar batuan (*internal friction*) dan kelekatan (*cohesion*). *Internal friction* tergantung pada tekstur permukaan, bentuk butiran, gradasi agregat, kepadatan campuran dan kadar aspal.

Pengaruh kadar aspal terhadap stabilitas ditunjukkan oleh peningkatan stabilitas seiring dengan bertambahnya kadar aspal, hingga stabilitas mencapai batas maksimum, selanjutnya penambahan kadar aspal akan menyebabkan turunnya nilai stabilitas. Hal ini disebabkan karena aspal yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat berubah menjadi pelicin seiring dengan bertambahnya kadar aspal, kemudian menurunkan gaya saling mengunci antar agregat pada campuran. Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai grafik stabilitas seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.6 berikut ini.



Gambar 6.6 Grafik hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

Dengan melihat data yang telah disebutkan diatas, maka penggunaan agregat halus Cepu pada campuran agregat kasar Clereng + halus Cepu menurunkan nilai

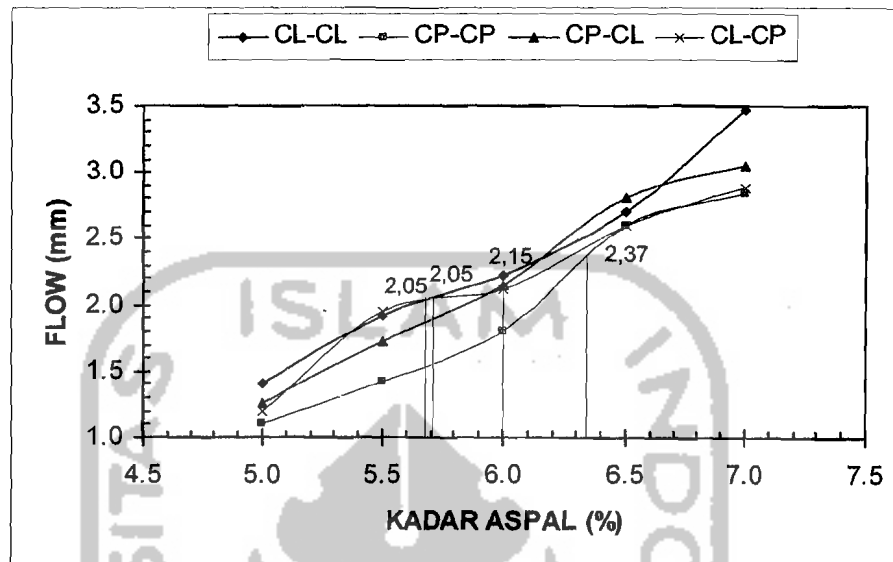
stabilitas paling besar dibandingkan penggunaan agregat kasar Cepu pada campuran agregat kasar Cepu + halus Clereng, hal ini dikarenakan agregat halus Cepu yang berbentuk agak bulat dan licin memiliki *interlocking* yang kecil, sehingga menurunkan nilai stabilitas campuran. Karena *interlocking* antar agregat sangat mempengaruhi nilai stabilitas. Penggunaan agregat halus yang baik akan meningkatkan nilai stabilitas pada suatu campuran, dalam hal ini dapat dilihat pada kombinasi campuran agregat kasar Cepu + agregat halus Clereng. Meskipun demikian nilai stabilitasnya tidak mengurangi persyaratan yang telah ditentukan.

Sesuai dengan petunjuk pelaksanaan Lapis Aspal Beton dari Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga 1987, nilai stabilitas untuk beton aspal dengan lalu lintas tinggi minimal adalah 550 Kg.

#### 6. *Flow*

Kelcehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dengan satuan panjang (mm). Kelelahan suatu campuran menunjukkan tingkat kelenturan lapis perkerasan, tingkat kelelahan tersebut lebih banyak ditentukan oleh aspalnya, terutama sifat daktilitas, *flow* rendah dalam campuran akan menghasilkan lapis perkerasan yang fleksibilitasnya rendah. Campuran yang memiliki *flow* rendah dengan stabilitas tinggi cenderung kaku sehingga mudah mengalami retak apabila menerima beban yang melebihi daya dukungnya. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas. Nilai *flow* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperatur pemadatan.

Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *flow* seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.7 berikut ini.



Gambar 6.7 Grafik hubungan antara kadar aspal dan *flow*

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

Dari gambar 6.7 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar aspal nilai *flow* yang didapatkan akan meningkat, maka fleksibilitasnya juga meningkat.

Campuran LASTON agregat kasar Cepu + agregat halus Cepu memiliki kelelahan paling tinggi pada kadar aspal optimum. Hal itu disebabkan bentuk agregat kasar Cepu agak bulat dan teksturnya kasar dan agregat halus yang mempunyai bentuk agak bulat dan licin. Nilai *flow* yang tinggi sangat baik selama tidak melampaui batas, hal itu berarti campuran agregat kasar + halus Cepu fleksibilitasnya tinggi.

Campuran agregat kasar Cepu + agregat halus Clereng mempunyai nilai kelelahan lebih baik dibandingkan nilai kelelahan pada campuran agregat kasar Clereng + agregat halus Cepu. Berarti penggunaan agregat kasar Cepu dapat meningkatkan nilai *flow* campuran. Hal itu disebabkan, bentuk agregat kasar Cepu agak bulat dan teksturnya kasar mempengaruhi fleksibilitas campuran.

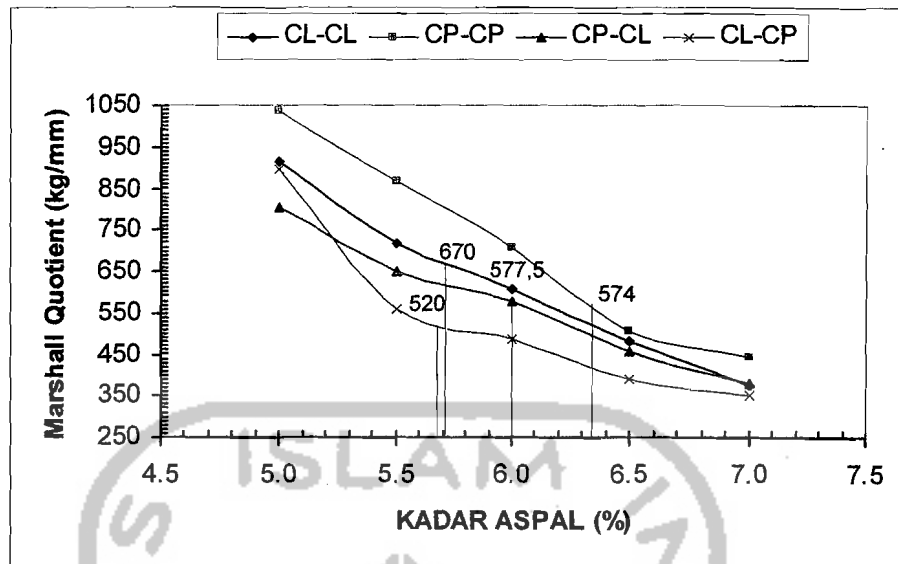
Sesuai dengan Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton dari Departemen Pekerjaan Umum 1987, nilai *flow* untuk beton aspal dengan lalu lintas tinggi adalah 2 mm – 4 mm.

#### 7. MQ (*Marshall Quotient*)

Nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan, dan digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Stabilitas yang tinggi disertai dengan *flow* yang rendah menyebabkan perkerasan menjadi kaku dan getas. Sebaliknya stabilitas yang rendah dengan *flow* yang tinggi menunjukkan campuran lebih bersifat plastis dan apabila menerima beban lalu lintas, maka perkerasan akan mengalami deformasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi *Marshall Quotient* adalah stabilitas dan *flow*.

Ini berarti bahwa nilai *Marshall Quotient* juga tergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas dan *flow*, seperti bentuk, tekstur permukaan, gradasi agregat, daya lekat, kadar aspal, viskositas aspal, jumlah dan temperatur pemadatan. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Marshall Quotient* yang ditunjukkan pada gambar 6.8 berikut ini.





Gambar 6.8 Grafik hubungan antara kadar aspal dan *Marshall Quotient*

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cebu

CP-CL = Agregat Kasar Cebu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cebu

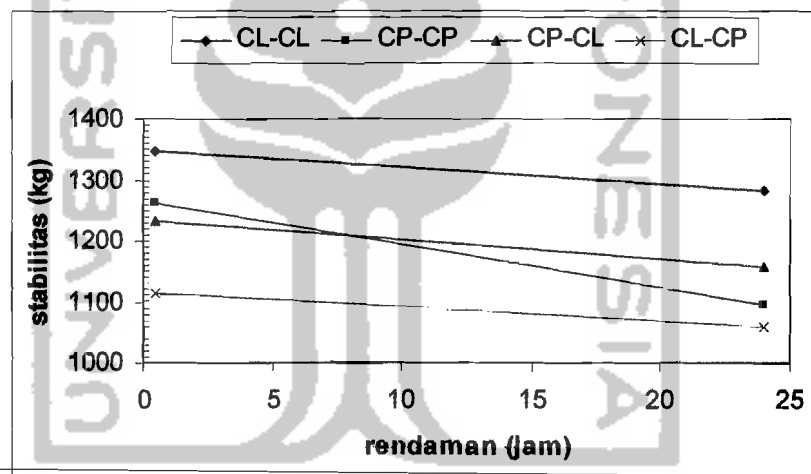
Dari gambar 6.8 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* campuran agregat kasar Clereng + agregat halus Clereng memiliki nilai yang paling tinggi pada kadar aspal optimumnya, hal ini dikarenakan nilai stabilitas campuran tersebut tinggi namun nilai *flow* rendah. Campuran agregat kasar Cebu + agregat halus Clereng dan kombinasi campuran agregat kasar Cebu + agregat halus Cebu mempunyai nilai *medium* dan nilai keduanya saling mendekati. Hal ini disebabkan nilai stabilitas kombinasi tersebut cukup tinggi dan nilai *flow* juga cukup tinggi. Sedangkan campuran agregat agregat kasar Clereng + agregat halus Cebu memiliki nilai *Marshall Quotient* yang paling rendah, karena nilai stabilitasnya yang paling rendah.

Sesuai dengan Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton dari Departemen Pekerjaan Umum 1987, nilai *Marshall Quotient* untuk beton aspal minimal 200 - 350 Kg/mm.

## 6.2.2 Marshall Properties Rendaman 24 Jam

### 1, Stabilitas

Stabilitas rendaman 24 jam dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan perkerasan untuk menahan beban pada kondisi banjir. Nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan rendaman 24 jam dapat dilihat pada gambar 6.8 berikut ini.



Gambar 6.9 Grafik hubungan antara rendaman dan stabilitas

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu

Dari gambar 6.9 diketahui nilai stabilitas pada rendaman 24 jam mengalami penurunan dibandingkan dengan rendaman 30 menit. Hal ini karena sifat air yang

merusak. Sifat air yang merusak ini menyebabkan ikatan adhesi antara aspal dan agregat terganggu akibat kehadiran air.

## 2. *Retained Marshall Stability*

*Retained Marshall Stability* (indeks kekuatan sisa *Marshall*) dihasilkan karena adanya proses perendaman. Indeks ini menunjukkan kekuatan yang masih dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Pada penelitian ini, perendaman diberikan selama 24 jam pada suhu 60°C. *Retained Marshall Stability* digunakan untuk menentukan turunnya nilai kekuatan (*Strength*) dan kekakuan (*Stiffness*) campuran beraspal akibat air.

Kriteria minimum untuk nilai *Retained Marshall Stability* adalah 75% (Bina Marga 1987). Apabila suatu campuran yang memiliki nilai *Retained Marshall Stability*  $\geq 75\%$  berarti campuran perkerasan tersebut mempunyai daya tahan yang baik terhadap air, sehingga campuran perkerasan tersebut tahan terhadap kerusakan oleh kehadiran air.

Nilai *Retained Marshall Stability* dihitung dengan membandingkan nilai stabilitas setelah direndam selama 24 jam (S2) dengan nilai yang direndam selama 30 menit (S1).

Dari hasil pengujian *Immersion Test* pada campuran yang menggunakan agregat kasar Clereng + agregat halus Clereng didapatkan nilai stabilitas (S2) sebesar 1282,68 Kg dan pengujian *Marshall* standar dihasilkan nilai stabilitas (S1) sebesar 1346,76 Kg. Hasil perhitungan indeks tahanan campuran beton aspal adalah sebagai berikut.

$$\text{Retained Marshall Stability} = \frac{S2}{S1} \times 100\%$$

$$= \frac{1282,68}{1346,76} \times 100\%$$

$$= 95,24 \% \geq 75\%$$

Dari hasil pengujian *Immersion Test* pada campuran yang menggunakan agregat kasar Clereng + agregat halus Cebu didapatkan nilai stabilitas (S2) sebesar 1058,67 Kg dan pengujian *Marshall* standar dihasilkan nilai stabilitas (S1) sebesar 1116,05 Kg. Hasil perhitungan indeks tahanan campuran beton aspal adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Retained Marshall Stability} &= \frac{S2}{S1} \times 100\% \\ &= \frac{1058,67}{1116,05} \times 100\% \\ &= 94,86 \% \geq 75\% \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian *Immersion Test* pada campuran yang menggunakan agregat kasar Cebu + agregat halus Clereng didapatkan nilai stabilitas (S2) sebesar 1156,97 Kg dan pengujian *Marshall* standar dihasilkan nilai stabilitas (S1) sebesar 1232,25 Kg. Hasil perhitungan indeks tahanan campuran beton aspal adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Retained Marshall Stability} &= \frac{S2}{S1} \times 100\% \\ &= \frac{1156,97}{1232,25} \times 100\% \\ &= 93,89 \% \geq 75\% \end{aligned}$$

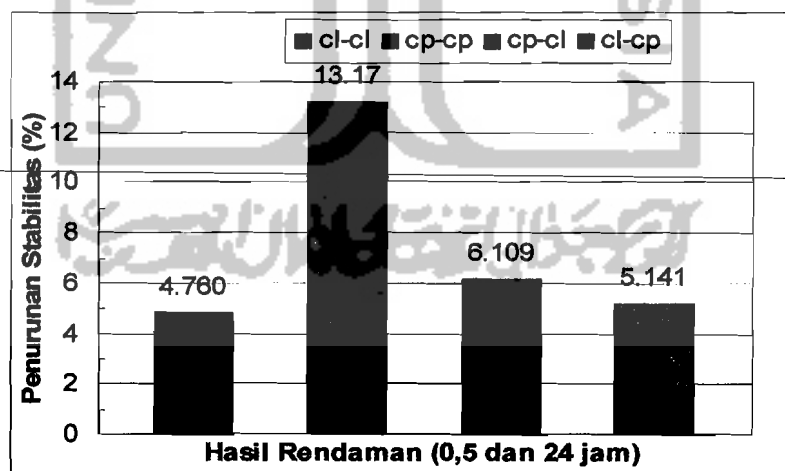
Dari hasil pengujian *Immersion Test* pada campuran yang menggunakan agregat kasar Cebu + agregat halus Cebu didapatkan nilai stabilitas (S2) sebesar

1095,34 Kg dan pengujian *Marshall* standar dihasilkan nilai stabilitas (S1) sebesar 1261,41 Kg. Hasil perhitungan indeks tahanan campuran beton aspal adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Retained Marshall Stability} &= \frac{S2}{S1} \times 100\% \\ &= \frac{1095,34}{1261,41} \times 100\% \\ &= 86,83 \% \geq 75\% \end{aligned}$$

Dari hasil di atas diketahui bahwa campuran memiliki nilai *Retained Marshall Stability*  $\geq 75\%$ , berarti semua campuran memiliki ketahanan kekuatan terhadap air, suhu, dan udara. Campuran agregat kasar Clereng + agregat halus Clereng memiliki nilai *Retained Marshall Stability* terbesar dan mengalami penurunan nilai stabilitas sebesar 4,76 %. Nilai VFWA yang besar berarti selimut aspalnya tebal dan VITM-nya yang rendah akan mengakibatkan meningkatnya sifat durabilitas beton aspal, karena ikatan antar agregatnya masih baik. Tekstur permukaannya yang kasar dan bentuknya yang bersudut memberikan *interlocking* yang baik, sehingga masih memberikan nilai stabilitas yang baik. Untuk campuran agregat kasar Cebu + agregat halus Cebu memiliki nilai *Retained Marshall Stability* terendah dan mengalami penurunan nilai stabilitas tertinggi sebesar 13,17 %, hal ini disebabkan oleh stabilitas yang rendah dikarenakan *density* yang relatif rendah. Campuran agregat ini akan mudah ditembus air, karena nilai VFWA yang tinggi, nilai VITM dan VMA yang tinggi, sehingga oksidasi terhadap lapisan mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak. Untuk campuran agregat kasar Cebu + agregat halus Clereng memiliki nilai *Retained Marshall Stability medium*,

yaitu sebesar 6,11 %. Hal ini disebabkan karena agregat kasar Cepu memiliki bentuk yang agak bulat dan tekstur permukaannya kasar, ditambah dengan agregat halus Clereng yang bentuknya bersudut dan tajam. Telah diketahui sebelumnya bahwa agregat kasar Cepu dan agregat halus Cepu memiliki penyerapan yang cukup tinggi, namun stabilitas campuran tersebut masih cukup tinggi meskipun telah melalui proses perendaman. Kombinasi campuran agregat kasar Clereng + agregat halus Cepu memiliki nilai *Retained Marshall Stability medium*, yaitu sebesar 5,14 %. Hal ini disebabkan oleh nilai VITM rendah dan VMA-nya rendah berarti campuran tersebut cukup kedap air, sehingga kemampuan menyerap airnya cukup kecil, maka campuran tetap tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh kehadiran air. Untuk memperjelas uraian tentang perubahan stabilitas setelah benda uji melalui proses perendaman, dapat dilihat pada grafik 6.10 hubungan penurunan stabilitas dan rendaman sebagai berikut.



Gambar 6.10 Grafik hubungan penurunan stabilitas dan rendaman

Keterangan:

CL-CL = Agregat Kasar + Halus Clereng

CP-CP = Agregat Kasar + Halus Cepu

CP-CL = Agregat Kasar Cepu + Agregat Halus Clereng

CL-CP = Agregat Kasar Clereng + Agregat Halus Cepu