

BAB VII

PEMBAHASAN

7.1. Sifat fisik bahan

7.1.1. Agregat

Agregat yang digunakan dalam campuran beton aspal berasal dari Clereng Kulonprogo, Jogjakarta. Hasil pemeriksaan laboratorium untuk agregat kasar dan agregat halus menunjukkan bahwa karakteristik agregat dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran beton aspal. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2.

Pengujian terhadap tingkat keausan agregat dengan menggunakan mesin *Los Angeles* dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat terhadap keausan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran merupakan komponen yang mendukung beban sehingga diperlukan agregat yang tahan terhadap keausan oleh gesekan dari roda kendaraan di jalan. Hasil pemeriksaan menunjukkan nilai keausan sebesar 23,9 %, jauh lebih rendah dibandingkan dengan persyaratan ($\leq 40\%$).

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk mengetahui besarnya kemampuan agregat untuk dapat dilekati oleh aspal. Daya lekat ini akan mempengaruhi *internal friction* campuran. Semakin besar daya lekat agregat terhadap aspal maka *internal friction* akan semakin meningkat, sehingga stabilitas campuran akan semakin baik. Hasil pemeriksaan daya lekat agregat terhadap aspal menunjukkan nilai lekatan sebesar 98% lebih besar dari yang disyaratkan ($>95\%$).



Pengujian penyerapan terhadap air bertujuan untuk mengetahui besarnya porositas dari agregat. Semakin besar nilai penyerapan mengindikasikan agregat makin bersifat porus. Hasil pemeriksaan menunjukkan nilai penyerapan terhadap air oleh agregat sebesar 1,78 % untuk agregat kasar dan sebesar 2,06 % untuk agregat halus. Nilai ini lebih rendah dari spesifikasi yang disyaratkan ($\leq 3\%$).

Berat jenis dan penyerapan adalah dua parameter yang saling berkaitan erat. Berat jenis yang tinggi menunjukkan batuan yang padat dan kuat serta menunjukkan porositas yang rendah. Sebaliknya batuan dengan nilai berat jenis curah menunjukkan nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,74 dan untuk agregat halus sebesar 2,79. Nilai ini lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan ($> 2,5$).

Nilai *Sand Equivalent* agregat halus menunjukkan tingkat kebersihan agregat dari debu, lumpur atau kotoran lainnya. Hasil pemeriksaan diperoleh nilai *Sand Equivalent* agregat halus sebesar 72,15 %. Nilai ini lebih besar daripada spesifikasi yang disyaratkan ($> 50\%$), ini mengindikasikan bahwa agregat dalam keadaan bersih dan terbebas dari kandungan lumpur, debu, maupun kotoran lain yang dapat mengganggu lekatan agregat dengan aspal.

7.1.2. Aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal. Semakin keras aspal ditunjukkan oleh semakin kecilnya angka penetrasi aspal. Semakin keras aspal menunjukkan semakin pekatnya aspal dan semakin besar kohesinya. Hasil pemeriksaan menunjukkan nilai penetrasi aspal sebesar 61,9 mm. Nilai ini sesuai untuk aspal AC 60/70 yang harus memiliki angka penetrasi antara 60 mm sampai 79 mm.

Pemeriksaan titik lembek aspal bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur dimana aspal akan lembek apabila mendapat temperatur tinggi. Hasil pemeriksaan menunjukkan nilai titik lembek aspal sebesar 50° C, nilai ini masih sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan (48° C - 58° C).

Aspal merupakan bahan yang bersifat thermoplastik, yaitu kekentalannya dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur aspal semakin lunak atau cair. Apabila pemanasan aspal terlalu besar maka aspal akan rusak. Pemeriksaan titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal masih cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pemeriksaan menunjukkan titik nyala aspal pada temperatur 335°C, nilai ini jauh lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan.

Pemeriksaan kelarutan dalam CCL₄ bertujuan untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam CCL₄. Jumlah aspal yang larut menunjukkan tingkat kemurnian aspal. Makin besar aspal yang larut kemurnian aspal makin tinggi artinya makin kecil kandungan bahan lain yang dapat mengganggu ikatan aspal dan batuan. Hasil pemeriksaan menunjukkan kelarutan aspal dalam CCL₄ sebesar 99,081 %, nilai ini masih sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan (≥ 99 %).

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui keliatan atau kohesi dalam aspal itu sendiri yang dapat menggambarkan fleksibilitas campuran. Fleksibilitas campuran menunjukkan kemampuan campuran untuk menahan lendutan tanpa mengalami kerusakan. Hasil pemeriksaan daktilitas menunjukkan nilai 165 cm, lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan (>100 cm).

Berat jenis aspal perlu diketahui untuk merancang campuran antara agregat dan aspal. Hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai sebesar 1,01 gr/cc, sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu sebesar $>1,00$ gr/cc.

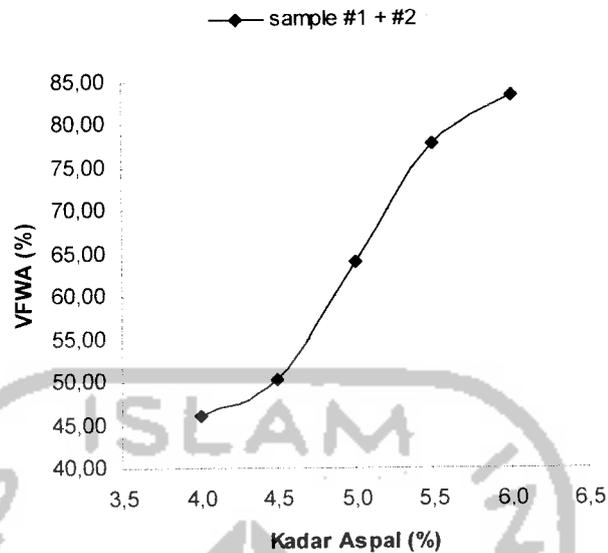
7.2. Karakteristik Marshall Campuran Beton Aspal

7.2.1. Pengaruh kadar aspal terhadap nilai VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

Campuran beton aspal

Nilai VFWA menunjukkan besarnya rongga yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai VFWA menentukan tingkat keawetan campuran. Semakin besar nilai VFWA berarti rongga yang terisi aspal semakin besar sehingga kedapatan campuran makin besar. Nilai VFWA yang terlalu besar akan menyebabkan terjadinya *bleeding* pada saat temperatur tinggi, yang disebabkan VITM yang terlalu kecil, sehingga apabila perkerasan menerima beban, maka aspal akan naik kepermukaan. Sebaliknya nilai VFWA yang terlalu kecil akan menyebabkan kedapatan perkerasan semakin kecil sehingga air dan udara akan dapat mengoksidasi aspal dalam campuran dan keawetan campuran menjadi berkurang.

Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VFWA dapat dilihat pada gambar 7.1 dan tabel 6.4. Dapat dilihat bahwa semakin besar kadar aspal ternyata nilai VFWA campuran beton aspal semakin besar. Hal ini disebabkan karena rongga antar butiran masih cukup besar sehingga pada setiap penambahan kadar aspal, aspal masih cukup mudah untuk masuk kedalam rongga-rongga campuran sehingga campuran menjadi semakin rapat dan nilai VFWA semakin besar.



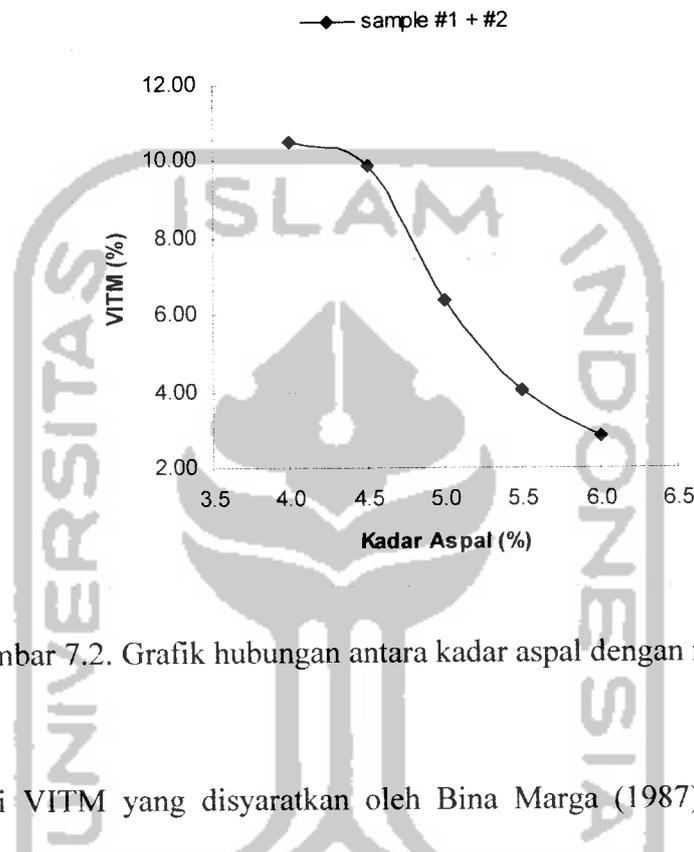
Gambar 7.1. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai VFWA

7.2.2. Pengaruh kadar aspal terhadap nilai VITM (*Void In The Mix*) campuran beton aspal

VITM (*Void in the Mix*) menyatakan prosentase rongga dalam campuran total. Nilai VITM dapat mengindikasikan tingkat kekedapan campuran. Semakin besar rongga dalam campuran menunjukkan campuran makin kurang kedap terhadap udara dan air, sehingga campuran akan lebih mudah teroksidasi dan diresapi oleh air. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada perkerasan. Besarnya nilai VITM sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi batuan dan cara pemadatan.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai VITM dapat dilihat pada Gambar 7.2 dan tabel 6.4. Dapat dilihat bahwa penambahan kadar aspal akan menurunkan nilai VITM, hal ini disebabkan karena rongga antar butiran masih cukup besar

sehingga pada setiap penambahan kadar aspal, aspal masih cukup mudah untuk masuk kedalam rongga-rongga campuran sehingga campuran menjadi semakin rapat dan nilai VITM menjadi semakin kecil.



Gambar 7.2. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai VITM

Nilai VITM yang disyaratkan oleh Bina Marga (1987) adalah 3 – 5%, perkerasan yang memiliki VITM terlalu rendah (< 3%) akan mudah mengalami *bleeding*. Hal ini terjadi pada saat temperatur perkerasan tinggi, aspal yang mencair bila menerima beban akan mencari tempat yang kosong dan mudah ditembus. Dengan nilai VITM yang rendah berarti rongga yang ada dalam campuran kecil, sehingga tidak tersedia ruang yang cukup dan mengakibatkan aspal naik ke permukaan. Sebaliknya nilai VITM yang terlalu besar (> 5%) akan mengurangi kekedapan campuran, sehingga keawetan perkerasan menjadi

menurun. Dengan demikian nilai VITM yang didapat dari hasil pengujian yang sesuai dengan peraturan Bina Marga adalah pada kadar aspal 5,3 % - 5,7 %.

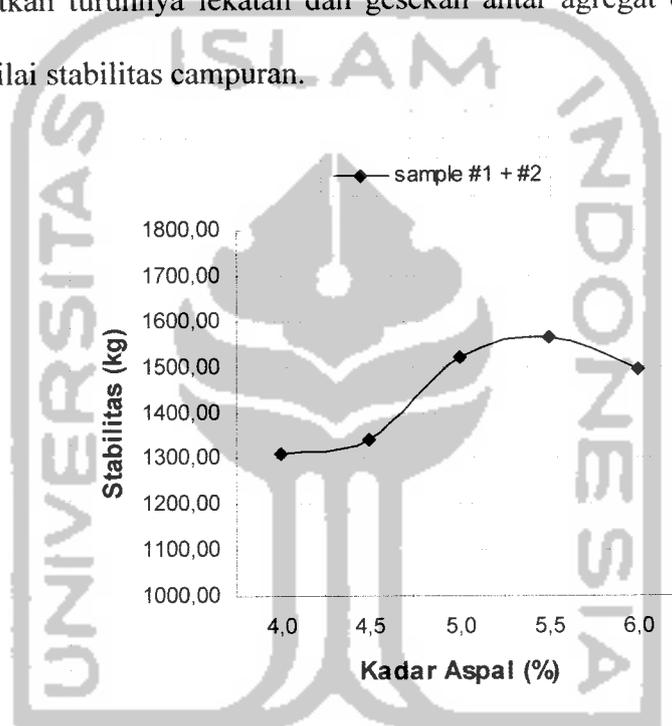
7.2.3. Pengaruh kadar aspal terhadap nilai stabilitas campuran beton aspal

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa terjadinya deformasi. Perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan campuran terlalu kaku sehingga akan mudah terjadi retak – retak pada waktu menerima beban. Sebaliknya dengan stabilitas yang rendah maka perkerasan akan mudah mengalami *rutting* oleh beban lalu lintas atau oleh perubahan bentuk *subgrade*. Besarnya nilai stabilitas dipengaruhi oleh *frictional resistance* dan *interlocking* yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campurannya. Kekuatan kohesi bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah aspal yang menyelimuti agregat, tetapi apabila telah tercapai nilai optimum maka penambahan kadar aspal akan menyebabkan penurunan stabilitas dikarenakan kepadatan dari campuran peningkatan dan fungsi aspal pada kadar 4,5% - 5,5% masih dalam posisi sebagai bahan ikat namun pada kadar aspal 6% fungsi dari aspal sebagai bahan ikat berubah menjadi pelicin setelah batas optimum tercapai.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada gambar 7.3 dan tabel 6.4. Dapat dilihat bahwa nilai stabilitas naik pada kadar aspal 4,5 % - 5,5 %. Stabilitas optimum terjadi pada kadar aspal antara 5% samapi dengan 5,5% dengan stabilitas optimum sebesar 1562,24 kg.

Naiknya nilai stabilitas disebabkan oleh bertambahnya jumlah aspal yang menyelimuti agregat sehingga kohesi campuran bertambah, kerapatan campuran

meningkat sehingga meningkatkan bidang kontak antar agregat dan meningkatkan *interlocking* antar agregat yang selanjutnya akan meningkatkan nilai stabilitas campuran. Sedangkan penurunan nilai stabilitas disebabkan karena aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat agregat, berubah fungsinya menjadi pelicin setelah melewati nilai optimum sehingga film aspal menjadi tebal dan mengakibatkan turunnya lekatan dan gesekan antar agregat dan bermuara pada turunnya nilai stabilitas campuran.



Gambar 7.3 Grafik hubungan antar kadar aspal dengan nilai stabilitas

Nilai stabilitas yang disyaratkan oleh Bina Marga (1987) untuk campuran beton aspal adalah > 550 kg. Dengan demikian semua campuran beton dengan kadar aspal 4 % sampai dengan 6 % memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai stabilitas minimum dari semua kadar aspal di capai pada kadar aspal 4 % dengan nilai stabilitas sebesar 1311,31 kg.

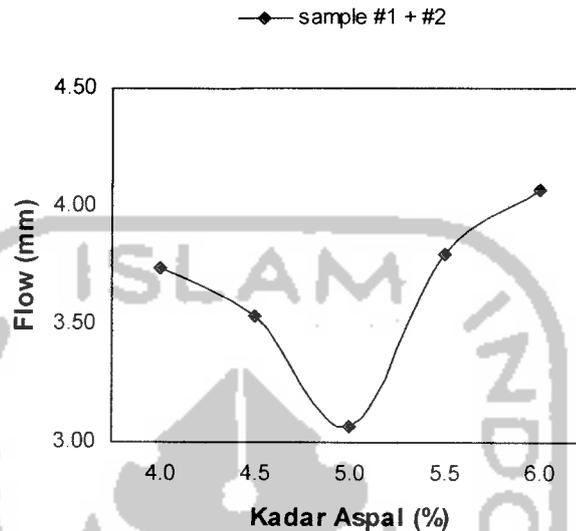
7.2.4. Pengaruh kadar aspal terhadap nilai *flow* (kelelehan) campuran beton aspal

Flow atau kelelehan adalah besarnya deformasi yang terjadi pada awal pembebanan sampai stabilitas menurun menunjukkan besarnya deformasi dari campuran perkerasan akibat beban yang bekerja padanya. Nilai *flow* campuran dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat serta jumlah dan temperatur pemadatan. Campuran yang memiliki nilai kelelehan tinggi dengan nilai stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk apabila mengalami pembebanan lalu lintas, sedangkan campuran dengan kelelehan rendah dan stabilitas yang tinggi cenderung bersifat getas.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 7.4 dan tabel 6.4. Dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar aspal nilai *flow* cenderung meningkat. Kenaikan nilai *flow* ini disebabkan karena dengan penambahan kadar aspal maka campuran menjadi semakin plastis, sehingga besarnya deformasi pada saat menerima beban meningkat, sedangkan penurunan nilai *flow* pada kadar 5 % dikarenakan kurangnya ketelitian dalam pembacaan alat.

Nilai *flow* yang disyaratkan oleh Bina Marga (1987) untuk campuran beton aspal adalah diantara 2 – 4 mm. Campuran dengan nilai *flow* lebih kecil dari 2 mm mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga perkerasan mudah mengalami retak. Sebaliknya campuran dengan nilai *flow* yang terlalu tinggi (> 4 mm) mengakibatkan perkerasan memiliki deformasi yang semakin tinggi. Dari

hasil penelitian nilai *flow* yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan pada kadar aspal 4 % - 5,6 %.



Gambar 7.4. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow*

7.2.5. Pengaruh kadar aspal terhadap nilai MQ (*Marshall Quotient*)

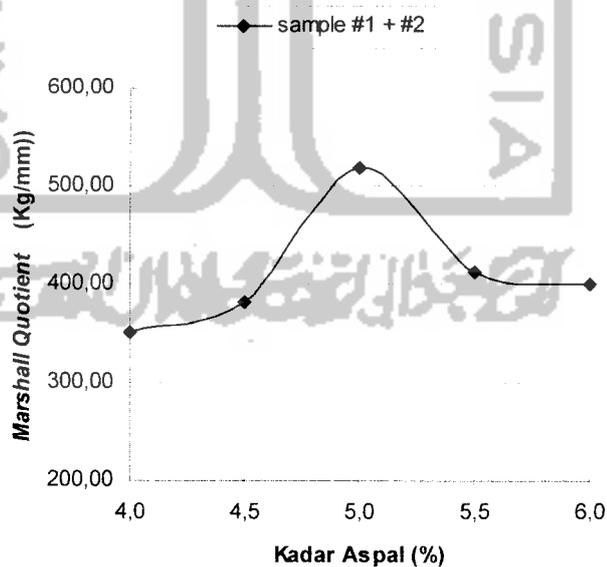
Campuran beton aspal

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*.

Nilai *Marshall Quotient* ini dapat mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Campuran yang memiliki nilai *Marshall Quotient* terlalu tinggi berarti campuran kaku dan fleksibilitasnya rendah sehingga campuran akan lebih mudah mengalami retak – retak (*cracking*). Sebaliknya campuran yang memiliki nilai *Marshall Quotient* yang terlalu rendah campuran akan bersifat fleksibel, lentur dan cenderung menjadi plastis sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu lintas. Besarnya nilai

Marshall Quotient tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi *frictional resistance* dan *interlocking* yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campurannya.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 7.5 dan 6.4. Dapat dilihat penambahan kadar aspal dari 4 % sampai 5 % nilai *Marshall Quotient* meningkat sedangkan untuk penambahan kadar aspal diatas 5 % nilai *Marshall Quotient* cenderung menurun. Kenaikan nilai MQ pada campuran beton aspal disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal sehingga kohesi antar agregat meningkat dan mengakibatkan campuran menjadi semakin kaku. Sedangkan penurunan nilai MQ pada kadar 5,5 % dikarenakan kurangnya ketelitian dalam pembacaan alat.



Gambar 7.5 Grafik hubungan antara kadar aspal dengan *Marshall Quotient*

7.3. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Beton Aspal

Spesifikasi yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum untuk campuran beton aspal grading IV adalah spesifikasi Bina Marga 1987. Kadar aspal optimum campuran beton aspal ditentukan dengan cara grafis yang dapat dilihat pada Gambar 7.6. Dari Gambar 7.6. dapat diketahui kadar aspal optimum sebesar 5,5 %.

Gambar 7.6 Kadar Aspal Optimum campuran beton aspal

Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
	4	4,5	5	5,5	6
Stabilitas (≥ 550 kg)					
Flow (2 – 4 mm)					
VFWA (-)					
VITM (3 – 5%)					
Density (≥ 2 gr/cc)					

$$KAO = \frac{1}{2} (5,25 + 5,75)$$

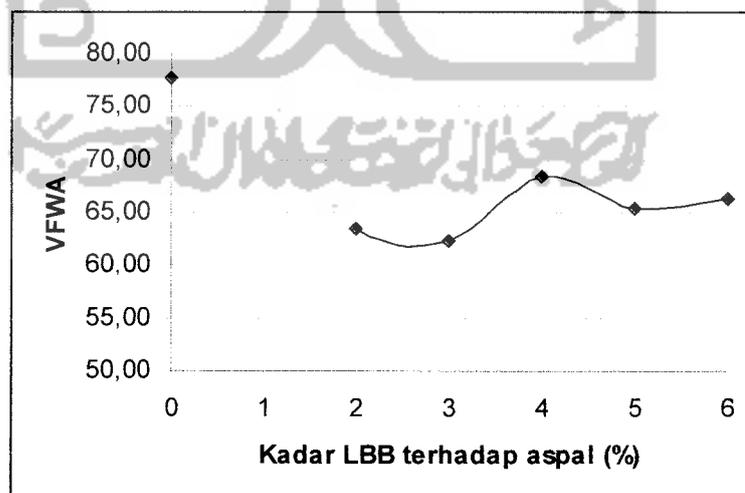
→

5,5 %

7.4. Karakteristik Marshall Campuran Beton Aspal dengan Limbah Batu Baterai (Magan) pada Kadar Aspal Optimum

7.4.1. Pengaruh Limbah Batu Baterai terhadap nilai VFWA (*Void Filled With Asphalt*) campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

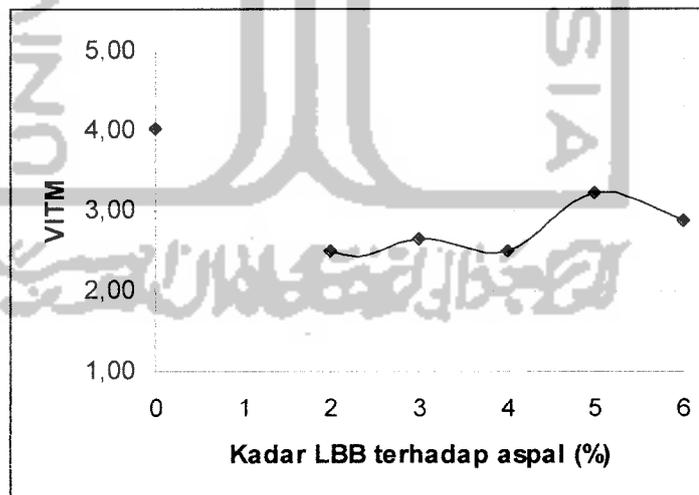
Nilai VFWA menunjukkan besarnya rongga campuran yang terisi aspal. Hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan VFWA pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 7.7 dan tabel 6.5. Gambar 7.6 menunjukkan penurunan nilai VFWA pada kadar limbah batu baterai 0% sampai 3%. Hal ini disebabkan oleh karena viskositas aspal meningkat sehingga rongga yang tertutup aspal semakin menurun. Sebaliknya pada kadar 4% sampai 6%, nilai VFWA cenderung meningkat, hal ini disebabkan oleh penambahan kadar limbah batu baterai mengakibatkan volume aspal meningkat sehingga semakin besar volume aspal menyebabkan nilai VFWA semakin tinggi akibat diisi oleh aspal dan limbah batu baterai.



Gambar 7.7 Grafik Hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai VFWA

7.4.2. Pengaruh limbah batu baterai terhadap nilai VITM (*Void in The mix*) campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

VITM menyatakan prosentase rongga dalam campuran total. Nilai VITM dapat mengindikasikan tingkat kekedapan campuran. Hubungan antar kadar limbah batu baterai dengan nilai VITM dapat dilihat pada gambar 7.8 dan tabel 5.5. Dapat dilihat bahwa penambahan limbah batu baterai dari 0% sampai 4% nilai VITM cenderung menurun, sedangkan penambahan limbah batu baterai pada kadar 5% nilai VITM mengalami kenaikan. Kenaikan nilai VITM disebabkan oleh viskositas aspal meningkat sehingga rongga yang terisi aspal menurun. Penurunan nilai VITM disebabkan oleh penambahan limbah batu baterai yang mempengaruhi volume aspal, sehingga semakin besar volume aspal menyebabkan nilai VITM semakin menurun akibat diisi oleh aspal.

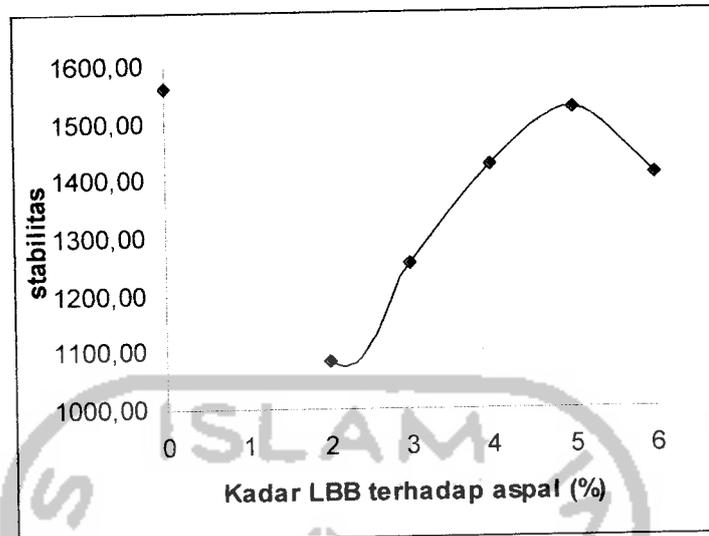


Gambar 7.8. Grafik hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai VITM

7.4.3. Pengaruh Limbah Batu Baterai terhadap nilai stabilitas campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan menahan beban tanpa terjadinya deformasi. Besarnya nilai stabilitas dipengaruhi oleh *frictional resistance* dan *interlocking* yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campurannya.

Hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai stabilitas diilustrasikan pada gambar 7.9 dan tabel 6.5. Dapat dilihat pada kadar LBB 0% sampai 2% mengalami penurunan dan pada rentang penambahan 2% sampai 5% nilai stabilitas campuran beton aspal pada kadar aspal optimum meningkat yang disebabkan oleh rekatan (*interlocking*) antar agregat meningkat akibat Magan dari batu baterai yang dapat meningkatkan nilai kohesi. Pada rentang kadar limbah batu baterai 5% sampai 6% nilai stabilitas campuran beton aspal pada kadar aspal optimum menurun. Penurunan nilai stabilitas ini disebabkan karena penambahan limbah batu baterai yang berlebihan mengakibatkan volume aspal bertambah sehingga aspal yang menyelimuti agregat menjadi semakin tebal yang berakibat jarak antar agregat dalam campuran semakin besar, hal ini dibuktikan dengan kenaikan nilai VMA pada tiap penambahan kadar LBB seperti dapat dilihat pada gambar 7.12.



Gambar 7.9. Grafik hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai stabilitas

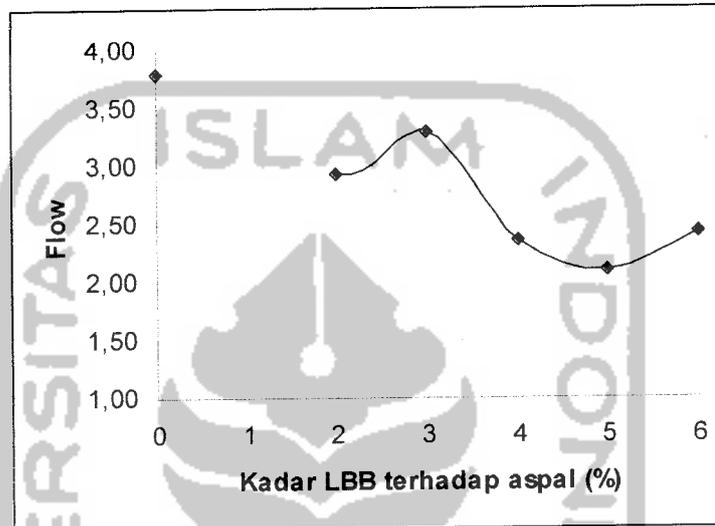
Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa penambahan limbah batu baterai berakibat meningkatkan nilai stabilitas. Dengan nilai stabilitas yang lebih besar diharapkan campuran memiliki ketahanan terhadap *rutting* dan *shoving* lebih besar.

7.4.4. Pengaruh limbah batu baterai terhadap nilai *flow* (kelelahan) campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

Flow atau kelelahan adalah besarnya deformasi yang terjadi pada awal pembebanan sampai stabilitas menurun yang menunjukkan besarnya deformasi dari campuran perkerasan akibat beban yang bekerja padanya. Nilai *flow* campuran dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat serta jumlah dan temperatur pemadatan.

Hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 7.10. dan tabel 6.5. Dari gambar terlihat bahwa pada campuran

beton aspal pada kadar 0% sampai 2% cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh viskositas aspal meningkat akibat penambahan kadar limbah batu baterai, sedangkan kenaikan nilai flow pada kadar LBB 3% dan 6% disebabkan karena kesalahan pada saat pembacaan alat.



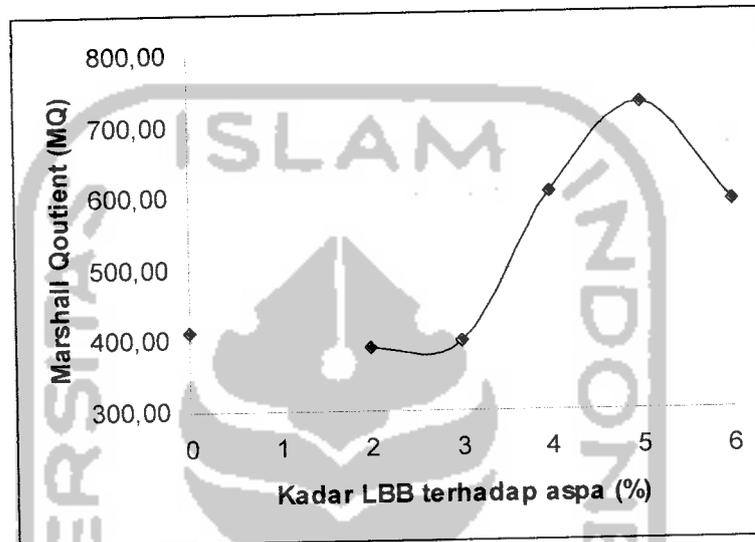
Gambar 7.10. Grafik hubungan antar Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai *flow*

7.4.5. Pengaruh limbah batu baterai terhadap nilai *Marshall Quotient* (MQ) campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* ini dapat mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran.

Hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada gambar 7.11. dan tabel 6.5. Dari gambar terlihat bahwa pada campuran beton aspal pada kadar 0% sampai 2% mengalami

penurunan. Pada kadar limbah batu baterai 3 % sampai 5 % cenderung mengalami peningkatan yang menunjukkan bahwa kekakuan campuran meningkat dengan penambahan limbah batu baterai, setelah mencapai keadaan optimum terjadi penurunan.

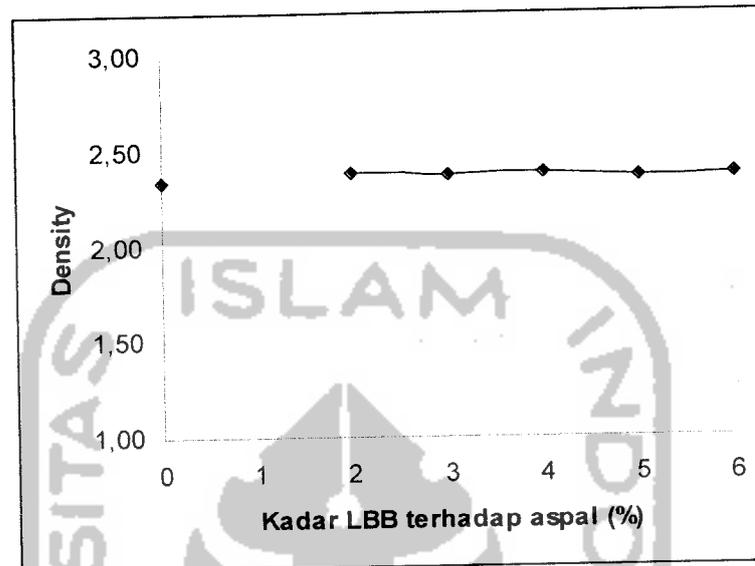


Gambar 7.11. Grafik hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai *Marshall Quotient*.

7.4.6 Pengaruh Limbah Batu Baterai terhadap nilai *Density* campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

Density merupakan tingkat kerapatan setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada tiap satuan volume. *Density* campuran dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi agregat, pelaksanaan pemadatan, baik suhu pemadatan maupun jumlah tumbukannya, kualitas bahan penyusunnya, berat jenis agregat dalam kadar aspal. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan

(*density*) tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang mempunyai nilai kepadatan rendah.

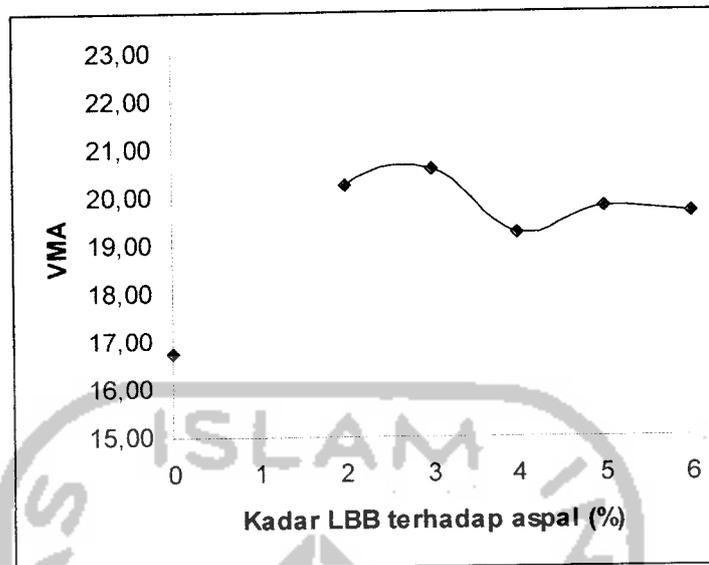


Gambar 7.12. Grafik hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai *Density*.

Hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 7.12. dan tabel 6.5. Dari gambar terlihat bahwa pada kadar limbah batu baterai 0% sampai 2% nilai *density* mengalami peningkatan yang relatif kecil, sedangkan pada rentang 2 % sampai 5 % cenderung konstan.

7.4.7. Pengaruh Limbah Batu Baterai terhadap nilai VMA (*Voids in Mineral Agregates*) campuran beton aspal pada kadar aspal optimum

VMA (*Void in mineral Agregates*) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir – butir agregat suatu campuran beraspal, termasuk rongga yang terisi aspal efektif.



Gambar 7.13. Grafik hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai VMA.

Hubungan antara nilai VMA dengan kadar limbah batu baterai dapat dilihat pada Gambar 7.13. Dari hasil penelitian terlihat bahwa hubungan kadar LBB pada kadar aspal optimum terdapat nilai VMA menunjukkan hasil yang berlawanan dan kemungkinan hal ini disebabkan penambahan kadar LBB mampu meningkatkan kohesi aspal sehingga ikatan antar aspal dan agregat semakin kuat yang mengakibatkan campuran semakin rapat, seiring penambahan kadar LBB sehingga nilai VMA semakin rendah.

7.5. Penentuan Kadar Limbah Batu Baterai Optimum pada Kadar Aspal

Optimum Campuran Beton Aspal

Spesifikasi yang digunakan untuk menentukan kadar limbah batu baterai optimum pada kadar aspal optimum untuk campuran beton aspal grading IV adalah spesifikasi Bina Marga 1987. Kadar limbah batu baterai optimum

campuran beton aspal pada kadar aspal optimum ditentukan dengan cara grafis yang dapat dilihat pada Gambar 7.2.

Gambar 7.14 Kadar Limbah Batu Baterai pada Kadar Aspal Optimum Campuran Beton Aspal

Spesifikasi	Kadar LBB (%)				
	2	3	4	5	6
Stabilitas (≥ 550 kg)					
Flow (2 – 4 mm)					
VFWA (-)					
VITM (3 – 5%)					
Density (≥ 2 gr/cc)					

Kadar LBB Optimum = $\frac{1}{2} (3,4+4,6) \rightarrow 4 \%$

7.6. Durabilitas Campuran Beton Aspal dengan dan tanpa Limbah Batu Baterai

Untuk mengetahui nilai durabilitas beton aspal, dilakukan pengujian *Immersion* antara campuran beton aspal yang menggunakan limbah batu baterai dan tanpa limbah batu baterai.

Durabilitas pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana ketahanan campuran beton aspal dengan dan tanpa limbah batu baterai terhadap

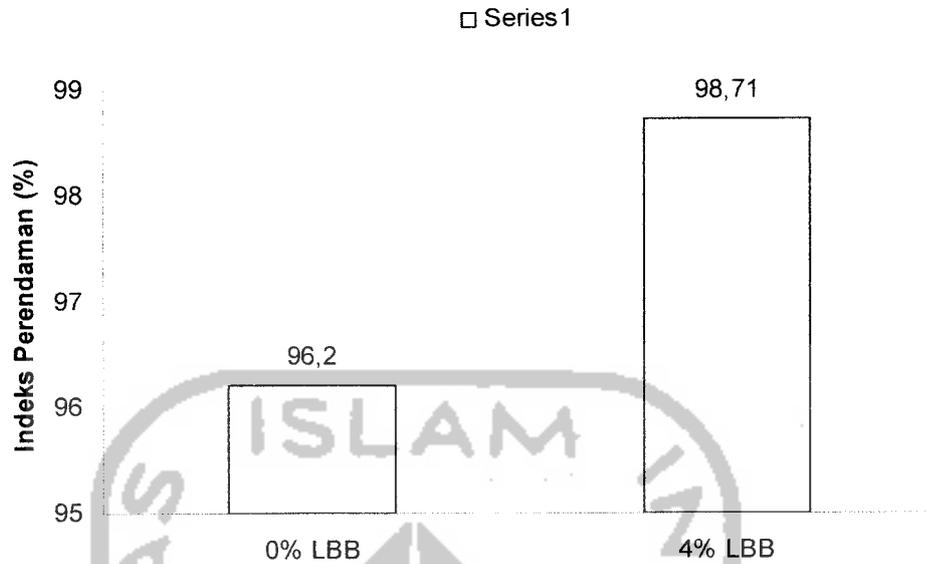
nilai stabilitas bila direndam dalam air pada suhu 60° C dengan lama perendaman 0,5 jam dan 24 jam.

Hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai stabilitas pada rendaman 0,5 jam dan 24 jam dapat dilihat pada Tabel 7.1. dan pada Gambar 7.14.

Tabel 7.1. Hubungan antara Kadar Limbah Batu Baterai dengan nilai stabilitas pada perendaman selama 24 jam

Kadar LBB %	Stabilitas pada berbagai perendaman		Indeks Perendaman (%)
	0,5 jam	24 jam	
0	1581.80	1521.74	96.20
4	1279.40	1262.96	98.71

Tabel 7.1. dan Gambar 7.15 mengilustrasikan bahwa nilai stabilitas campuran beton aspal tanpa limbah batu baterai (0 %) dan dengan limbah batu baterai (4 %) yang direndam pada suhu 60° C selama 24 jam dibandingkan dengan perendaman 0,5 mengalami kenaikan nilai stabilitas. Berdasarkan teori nilai stabilitas setelah direndam selama 24 jam lebih kecil dari nilai stabilitas yang direndam 0,5 jam. Hal ini disebabkan karena selama proses perendaman air masuk kedalam pori – pori campuran sehingga mengurangi kohesi dan penguncian antar agregat (*interlocking*).



Gambar 7.15 Grafik hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai Indeks Perendaman (IP)

Durabilitas campuran juga dapat ditunjukkan dari nilai indeks perendaman (IP). Pada Tabel 7.3 dan Gambar 7.15, dapat dilihat bahwa campuran dengan limbah batu baterai memiliki IP yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal tanpa limbah batu baterai sehingga merupakan indikasi bahwa penambahan limbah batu baterai membuat campuran lebih awet. Campuran memiliki durabilitas yang baik apabila sulit dilewati oleh udara maupun air, sehingga campuran dengan kadar rongga (VITM) rendah cenderung lebih awet. Penelitian ini menunjukkan hasil sebaliknya. Campuran dengan LBB yang memiliki VITM lebih besar tetapi memiliki IP lebih tinggi.

7.7. Pengaruh Kadar Limbah Batu Baterai terhadap Sifat Fisik Aspal

(penetrasi dan titik lembek)

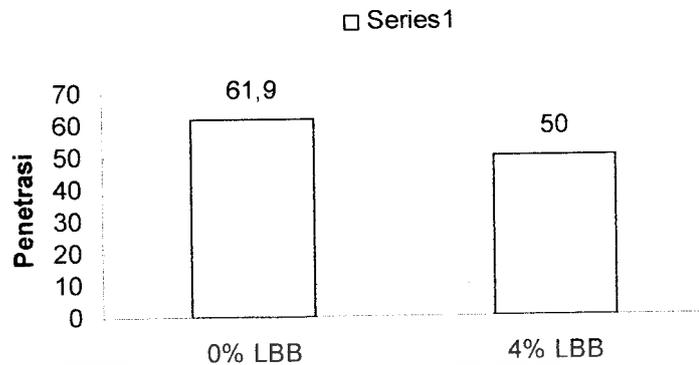
Pemeriksaan sifat fisik aspal dengan limbah batu baterai dilakukan setelah memperoleh kadar limbah batu baterai optimum. Perbandingan sifat fisik aspal dengan dan tanpa limbah batu baterai dapat dilihat pada Tabel 7.2 serta pada Gambar 7.16. dan Gambar 7.17.

Tabel 7.2. Perbandingan sifat fisik aspal dengan dan tanpa limbah batu baterai.

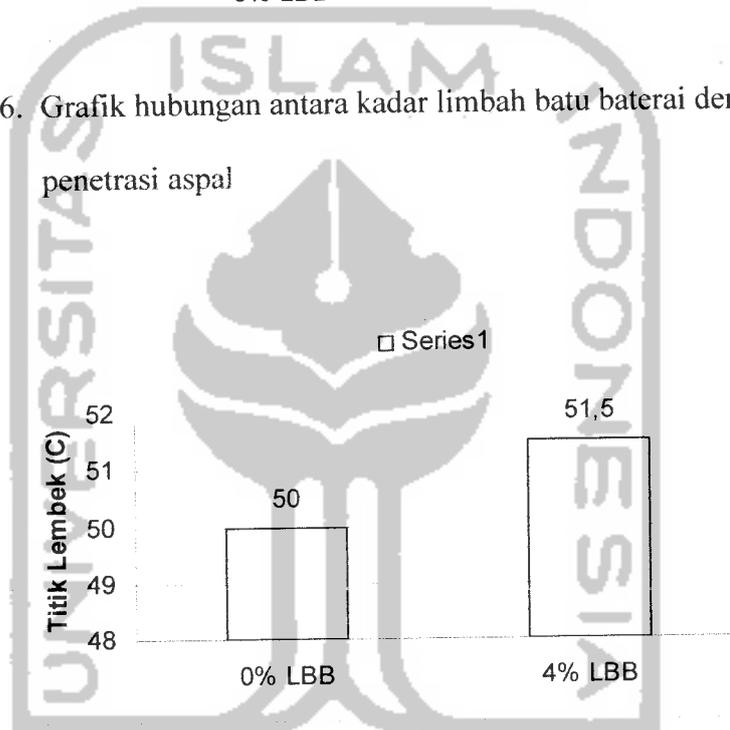
No.	Jenis pemeriksaan	Kadar LBB		Syarat *)		Satuan
		0%	4,0%	Min	Max	
1.	Penetrasi(25°C,5 detik)	61,9	50	60	79	0,1 mm
2.	Titik Lembek	50	51,5	48	58	°C

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, 2006

Tabel 7.2 dan Gambar 7.16. menggambarkan kekerasan aspal meningkat dengan penambahan limbah batu baterai. Hal ini ditunjukkan dengan nilai penetrasi aspal dengan limbah batu baterai lebih rendah dibandingkan aspal tanpa limbah batu baterai. Nilai penetrasi yang lebih rendah ini dapat mengindikasikan bahwa viskositas atau kekentalannya lebih tinggi, sehingga apabila dipergunakan dalam campuran dapat berakibat nilai VFWA menurun, nilai VITM meningkat.



Gambar 7.16. Grafik hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai penetrasi aspal



Gambar 7.17. Grafik hubungan antara kadar limbah batu baterai dengan nilai Titik lembek aspal

Hasil titik lembek seperti pada Tabel 7.2 dan Gambar 7.17. menunjukkan aspal dengan limbah batu baterai memiliki nilai titik lembek yang lebih tinggi dibandingkan aspal tanpa limbah batu baterai. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal dengan limbah batu baterai memiliki kepekaan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal tanpa limbah batu baterai, sehingga apabila dipergunakan dalam campuran beton aspal berakibat

nilai durabilitas lebih tinggi seiring dengan nilai IP (Indeks Perendaman) yang meningkat.

