

## BAB VI

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 6.1. Hasil Penelitian

##### 6.1.1. Hasil Pengujian Material

Pengujian terhadap material komponen penyusun campuran beraspal dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat material yang akan digunakan pada campuran *Hot Rolled Asphalt*. Material-material yang akan diuji adalah termasuk aspal, agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi.

Jenis pengujian laboratorium yang dikerjakan untuk mengevaluasi material dan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 6.1 sampai Tabel 6.3 berikut ini.

**Tabel 6.1.** Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

| No. | Jenis Pengujian                         | Syarat         | Hasil   |
|-----|---|----------------|---------|
| 1.  | Keausan dengan mesin <i>Los angeles</i> | $\leq 40 \%$   | 28,18 % |
| 2.  | Kelekatan terhadap aspal                | $\geq 95,5 \%$ | 97 %    |
| 3.  | Penyerapan air                          | $\leq 3 \%$    | 2,449 % |
| 4.  | Berat jenis agregat                     | $\geq 2,5$     | 2,53    |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya UII – Yogyakarta

**Tabel 6.2.** hasil Pengujian Agregat Halus

| No. | Jenis Pemeriksaan            | Syarat       | Hasil   |
|-----|------------------------------|--------------|---------|
| 1.  | Nilai <i>Sand Equivalent</i> | $\geq 50 \%$ | 76,36 % |
| 2.  | Penyerapan air               | $\leq 3 \%$  | 2,041 % |
| 3.  | Berat jenis                  | $\geq 2,5$   | 3,379   |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya UII Yogyakarta

**Tabel 6.3.** Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60-70

| No. | Sifat-sifat Teknis                    | Satuan  | Nilai | Spesifikasi |       |
|-----|---------------------------------------|---------|-------|-------------|-------|
|     |                                       |         |       | Min.        | Maks. |
| 1.  | Penetrasi (25° C, 5 det, 100 gr)      | 0,1 mm  | 65    | 60          | 70    |
| 2.  | Titik Lembek ( <i>Ring and Ball</i> ) | ° C     | 58    | 48          | 58    |
| 3.  | Daktilitas (25° C, 5 cm/menit)        | Cm      | 165   | 100         | -     |
| 4.  | Titik Nyala                           | ° C     | 331,5 | 200         | -     |
| 5.  | Berat Jenis (25° C)                   | -       | 1,036 | 1           | -     |
| 6.  | Kelarutan dalam $CCl_4$               | % berat | 99,85 | 99,5        | -     |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya UII – Yogyakarta

**Tabel 6.4.** Hasil Pemeriksaan *Polyvinyl Chloride (PVC)*

| No | Pengujian   | Hasil  |
|----|-------------|--------|
| 1  | Berat Jenis | 0,5520 |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya UII – Yogyakarta

Dari hasil pengujian material yang digunakan didapat bahwa material yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal penetrasi 60-70 memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 1987 sehingga dapat digunakan.

### 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 yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Percobaan dilakukan dengan temperatur pencampuran 155 °C dan suhu pemadatan 140° C. Hasil tes *Marshall* tersebut yang meliputi nilai Stabilitas, *Flow*, VITM, VFWA, dan *Marshall Quotient* dapat dilihat pada tabel 6.5. Kadar aspal optimum ditentukan oleh nilai stabilitas maksimum, tetapi nilai-nilai yang lain masih memenuhi syarat sehingga menghasilkan campuran terbaik. Berdasarkan perhitungan secara grafis dari Tabel 6.6, didapatkan kadar aspal optimumnya sebesar 6,106 % terhadap berat total campuran aspal *HRA*.

**Tabel 6.5.** Hasil Karakteristik *Marshall* Pada masing-masing kadar Aspal

| <b>Kadar Aspal</b> | <b>Stabilitas<br/>(kg)</b> | <b>Flow<br/>(mm)</b> | <b>VITM<br/>(%)</b> | <b>VMA<br/>(%)</b> | <b>MQ<br/>(kg/mm)</b> |
|--------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| 5%                 | 954,890                    | 3,067                | 4,557               | 15,427             | 311,813               |
| 5,5%               | 1127,795                   | 3,3                  | 4,462               | 16,351             | 339,892               |
| 6%                 | 1299,788                   | 3,733                | 3,788               | 16,763             | 348,719               |
| 6,5%               | 1356,488                   | 3,933                | 3,125               | 17,184             | 345,149               |
| 7%                 | 1294,075                   | 3,967                | 2,954               | 18,022             | 326,786               |
| <b>Spesifikasi</b> | <b>≥550</b>                | <b>2 - 4</b>         | <b>3-5</b>          | <b>≥ 16</b>        | <b>200-350</b>        |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya UII – Yogyakarta



**Tabel 6.8.** Hasil Pengujian *Marshall* Dengan Rendaman 24 jam Campuran *HRA* Dengan *PVC*

| <b>Kadar<br/><i>PVC</i></b> | <b>Stabilitas<br/>(kg)</b> | <b>Flow<br/>(mm)</b> | <b>MQ<br/>(kg/mm)</b> | <b>VITM<br/>(%)</b> | <b>VFWA<br/>(%)</b> | <b>VMA<br/>(%)</b> |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 0%                          | 918,603                    | 3,6                  | 254,455               | 3,59                | 78,64               | 16,80              |
| 1%                          | 1038,026                   | 3,67                 | 296,398               | 3,42                | 79,47               | 16,65              |
| 2%                          | 993,01                     | 3,83                 | 258,547               | 3,18                | 80,68               | 16,44              |
| 3%                          | 944,707                    | 3,97                 | 238,774               | 3,00                | 81,97               | 16,29              |
| 4%                          | 916,843                    | 4,15                 | 221,157               | 2,85                | 82,40               | 16,16              |
| 5%                          | 882,634                    | 4,4                  | 200,629               | 2,67                | 83,63               | 16,01              |
| <b>Spesifikasi</b>          | <b>≥550</b>                | <b>2 – 4</b>         | <b>200-350</b>        | <b>3-5</b>          | <b>-</b>            | <b>≥ 16</b>        |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya UII – Yogyakarta

## 2. Pengujian Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Test*)

Hasil Pengujian tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Test*) pada campuran *HRA* dapat dilihat pada Tabel 6.9 berikut ini.

**Tabel 6.9.** Hasil Pengujian Tarik Tak langsung Campuran *HRA* Dengan *PVC*

| <b>Kadar<br/><i>PVC</i></b> | <b>Load<br/>(Newton)</b> | <b>Angka<br/><i>Poisson</i></b> |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 0%                          | 3104,938                 | 0,3660                          |
| 1%                          | 3856,884                 | 0,3280                          |
| 2%                          | 3070,805                 | 0,3932                          |
| 3%                          | 2750,6173                | 0,4223                          |
| 4%                          | 2569,0987                | 0,4518                          |
| 5%                          | 2293,948                 | 0,4932                          |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium PAU UGM – Yogyakarta

Tabel 7.1 Hasil Perhitungan *Modulus Resilient*

| <b>Kadar<br/>PVC</b> | <b>Load<br/>(Newton)</b> | <b>Angka<br/>Poisson</b> | <b>Modulus Resilient<br/>(Mpa)</b> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 0%                   | 3104,9383                | 0,366                    | 132,6258                           |
| 1%                   | 3856,884                 | 0,328                    | 167,0949                           |
| 2%                   | 3070,805                 | 0,3932                   | 121,9131                           |
| 3%                   | 2750,6173                | 0,4223                   | 103,3879                           |
| 4%                   | 2569,0987                | 0,4518                   | 96,0312                            |
| 5%                   | 2293,948                 | 0,4932                   | 84,4684                            |

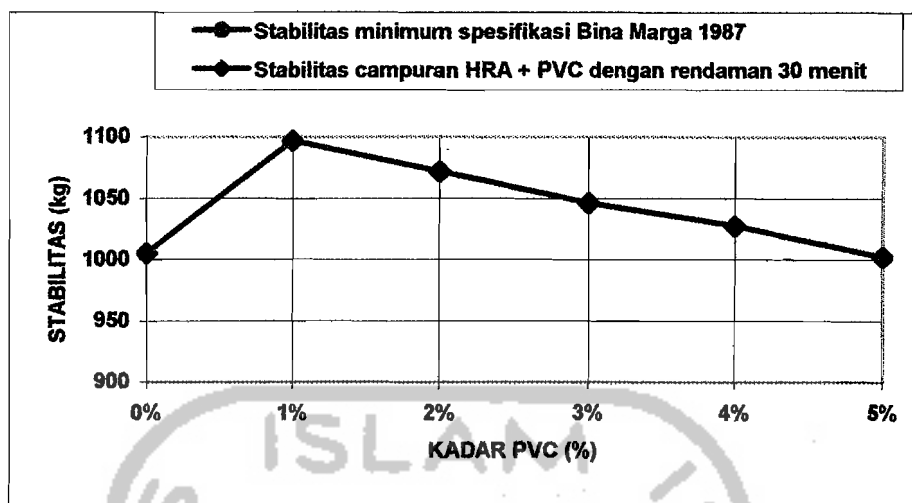
Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium PAU – UGM, Yogyakarta

## 6.2. Pembahasan Sifat *Marshall*

### 6.2.1. *Marshall Properties* Standar

#### 1. 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 kilogram atau *pounds*. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas adalah gradasi agregat, mutu agregat, kohesi, *friction* dan kadar aspal. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik stabilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1 berikut ini.



Gambar 6.1. Grafik Hubungan antara Stabilitas dengan Kadar *additive* PVC.

Dari gambar 6.1 diketahui nilai-nilai stabilitas pada penambahan kadar *additive PVC* 0% sampai dengan 1% mengalami kenaikan. Penambahan *PVC* pada aspal dengan suhu  $155^{\circ}\text{C}$  menyebabkan *PVC* melebur pada aspal dan sekaligus berfungsi seperti aspal dalam campuran. Aspal dengan *PVC* mempunyai viskositas yang lebih rendah dibanding aspal biasa karena *PVC* mempunyai titik cair  $95^{\circ}\text{C}$ . Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu yang sama aspal *PVC* lebih cair daripada aspal biasa sehingga membantu penyelimutan pada agregat dan menurunkan rongga dalam campuran selain itu penambahan *PVC* dapat meningkatkan kohesi dan adhesi campuran yang membantu lekatan antara agregat dengan aspal sehingga dapat meningkatkan stabilitas. *Additive PVC* dalam kadar ini akan membantu fleksibilitas aspal dan menambah kekuatan mortar, ini sangat penting mengingat kekuatan perkerasan *HRA* terletak pada kekuatan mortarnya bukan pada sifat *interlocking* agregatnya.

Sebaliknya pada penambahan *additive PVC* 2% sampai dengan 5% nilai stabilitas mengalami penurunan. Hal ini karena pada penambahan *additive* yang

lebih besar dari 1% menyebabkan penyelimutan agregat oleh aspal menjadi bertambah karena volume aspal yang mengisi rongga bertambah. Hal ini berarti bahwa efek penambahan *additive PVC* dalam meningkatkan kohesi dan *adhesi* campuran cenderung tetap atau kecil, sehingga gaya kohesi yang ditimbulkan kurang dapat mempertahankan ikatan antar agregat akibat volume aspal yang bertambah. Penambahan volume aspal ini berakibat pada efek pelicinan yang terjadi sehingga stabilitas menurun, dengan kata lain penambahan *additive PVC* 2% sampai dengan 5% cenderung menambah prosentase aspal dalam campuran, berarti penambahan *additive PVC* dalam campuran kemungkinan harus diiringi dengan pengurangan kadar aspal untuk mendapatkan nilai kohesi yang tetap sehingga nilai stabilitas dapat dipertahankan.

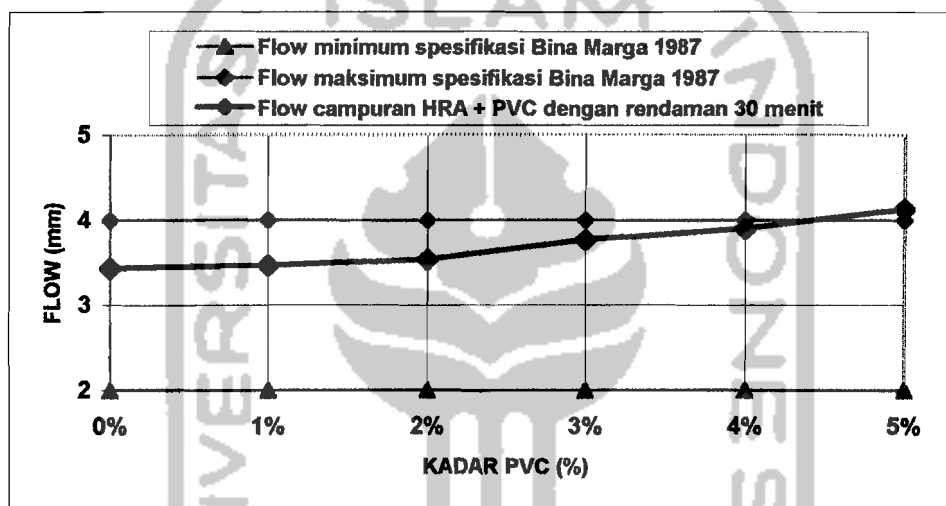
Nilai stabilitas yang disyaratkan oleh Bina Marga 1987 adalah lebih besar 550 kg. Secara keseluruhan campuran *HRA* dengan *additive PVC* dengan kadar 0% sampai dengan 5% memenuhi spesifikasi. Nilai stabilitas terbesar dicapai dengan penambahan *additive PVC* 1% dengan nilai 1096,982 kg pada rendaman 30 menit dan nilai stabilitas terendah yakni pada kadar *additive PVC* 5% yaitu dengan nilai 1002,099 kg.

## 2. *Flow*

Kelelehan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *flow* adalah gradasi campuran, kadar dan aspal, jenis batuan, jumlah dan temperatur pemadatan. *Flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis konstruksi perkerasan.



Campuran yang memiliki *flow* rendah dan stabilitas tinggi menunjukkan campuran tersebut bersifat kaku dan mudah retak (*Cracking*) jika menerima beban yang melebihi daya dukungnya. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) akibat beban lalu lintas. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.2 berikut ini.



Gambar 6.2 Grafik Hubungan antara *Flow* dan Kadar *additive PVC*

Dari gambar 6.2 pada kadar *additive* 0% sampai dengan 5% nilai *flow* mengalami kenaikan, kenaikan ini disebabkan karena penambahan *PVC* menyebabkan aspal bersifat lebih plastis dan fleksibel karena *PVC* mempunyai sifat fleksibilitas yang tinggi, sehingga semakin besar kadar *PVC* nilai *flow* semakin naik. Hasil ini sesuai dengan sifat *PVC* yang mempunyai fleksibilitas tinggi (Hatch & Matar, 1981).

Spesifikasi Bina Marga 1987 untuk nilai *flow* adalah 2 mm – 4 mm. Dari grafik diatas nilai *flow* yang masuk dalam spesifikasi Bina Marga adalah pada rendaman 30 menit yaitu pada kadar *additive* 0% dengan nilai *flow* 3,433 mm, 1%

dengan 3,47 mm, 2% dengan 3,53 mm, 3% dengan 3,77 mm dan 4% dengan 3,9 mm namun untuk kadar 5% nilai flow diluar spesifikasi.

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

VITM adalah persentase rongga yang ada pada suatu campuran yang dipengaruhi oleh gradasi agregat, temperatur pemadatan, energi pemadatan, kadar dan jenis aspal. Nilai VITM juga berpengaruh terhadap kekedapan campuran yaitu kekedapan terhadap udara dan air.

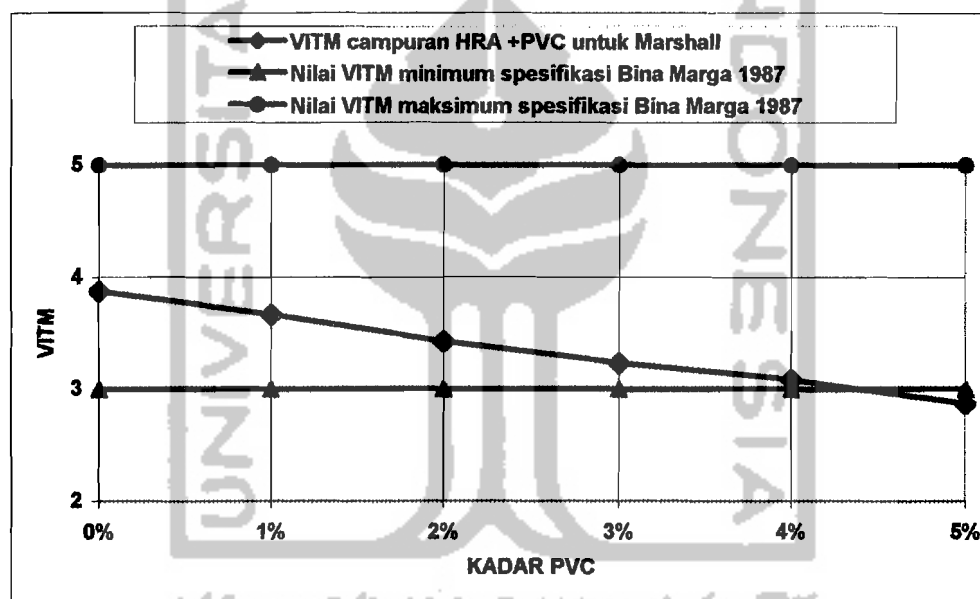
Dari persyaratan Bina Marga 1987 untuk lalu lintas berat, nilai VITM yang diijinkan berkisar antara 3% sampai 5%. Lapis perkerasan yang mempunyai nilai VITM yang kecil atau kurang dari 3% mengindikasikan bahwa campuran tersebut semakin padat dan rapat. Nilai VITM yang rendah dapat menyebabkan kemungkinan terjadi *bleeding* pada perkerasan lebih besar, apabila terdapat kelebihan aspal dan menerima beban pada suhu tinggi.

Semakin tinggi temperatur perkerasan menyebabkan aspal menjadi lebih mudah mencair dan pada saat perkerasan menerima beban lalu lintas. Jika dalam campuran tidak tersedia rongga yang cukup maka aspal yang berlebih akan naik ke permukaan perkerasan sehingga terjadi *bleeding*. Rongga dalam campuran juga diperlukan untuk pergerakan agregat apabila diperlukan untuk bergeser ketika menahan beban yang terjadi.

Nilai VITM yang besar atau lebih dari 5% menunjukkan bahwa rongga yang terjadi dalam campuran terlalu besar dan dapat menyebabkan aspal mudah teroksidasi yang berakibat melemahnya ikatan aspal terhadap agregat, sehingga dapat mengurangi sifat keawetan campuran terhadap pengaruh air dan udara.

Nilai VITM oleh Bina Marga mensyaratkan batas maksimum 5% dan batas minimum 3%, batas maksimum tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan keawetan campuran dan batas minimum 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 ke-*elastis*-an bahan penyusunnya. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik VITM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.3 berikut ini.



Gambar 6.3. Grafik Hubungan antara VITM dengan Kadar *additive*PVC.

Dari gambar grafik 6.3 dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar *additive* PVC 0% sampai dengan 5% nilai VITM mengalami penurunan, berarti campuran tersebut semakin rapat. Penambahan kadar *additive* akan menyebabkan aspal dan *additive* bersama-sama mengisi rongga antar agregat. Kemampuan aspal dalam mengisi rongga antar agregat dipengaruhi oleh viskositas aspal, dalam hal ini viskositas aspal menurun seiring dengan penambahan *additive* PVC. Hal ini disebabkan karena PVC memiliki titik cair yang lebih rendah dari titik cair aspal

sehingga aspal *PVC* lebih cair pada suhu yang sama dibanding aspal biasa. Hal ini menyebabkan kemampuan aspal mengisi rongga dalam campuran menjadi lebih baik sehingga mengurangi rongga dalam campuran.

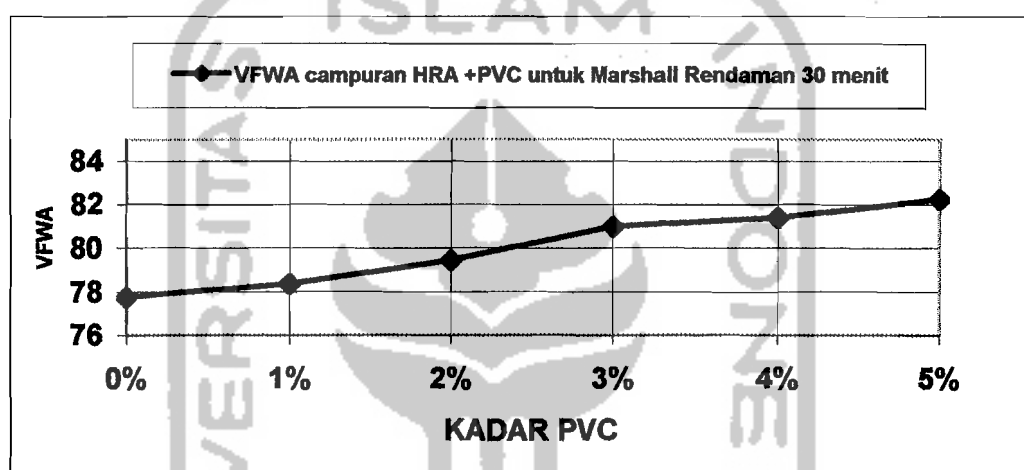
Secara teoritis nilai VITM semakin kecil menghasilkan nilai stabilitas semakin naik, tetapi pada penelitian ini menghasilkan nilai stabilitas yang turun karena dengan bertambahnya additive *PVC* dalam aspal mengakibatkan volume aspal bertambah sehingga nilai kohesi antar agregat pada campuran kurang dapat mengimbangi volume aspal yang bertambah yang menyebabkan perubahan fungsi aspal sebagai pelicin.

Nilai VITM pada penambahan kadar additive *PVC* 0% sampai dengan 4 % masuk dalam spesifikasi Bina Marga, tetapi pada kadar additive 5% tidak masuk dalam spesifikasi.

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

Nilai VFWA memperlihatkan banyaknya persen dari rongga yang terisi oleh aspal. Nilai VFWA yang besar menunjukkan banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedekatan campuran terhadap udara dan air menjadi tinggi. Nilai VFWA dipengaruhi oleh jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VFWA yang terlalu besar akibat adanya kelebihan aspal mengakibatkan potensi terjadinya *bleeding* makin besar, apabila perkerasan menerima beban pada temperatur tinggi karena rongga udara yang tersisa terlalu kecil sehingga ketika perkerasan menerima beban viskositas aspal menurun sehingga sebagian aspal akan mengisi rongga yang kosong dan jika rongga telah penuh, maka aspal akan naik ke permukaan perkerasan. Nilai VFWA yang terlalu rendah menyebabkan kedekatan

campuran menjadi berkurang karena banyaknya rongga yang kosong. Nilai VFWA yang rendah akan menyebabkan lapisan kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal menjadi tipis dan mudah retak bila terjadi penambahan beban sehingga aspal akan mudah teroksidasi yang mengakibatkan lapisan perkerasan tidak tahan lama (*durable*). Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik VFWA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.4 berikut ini.



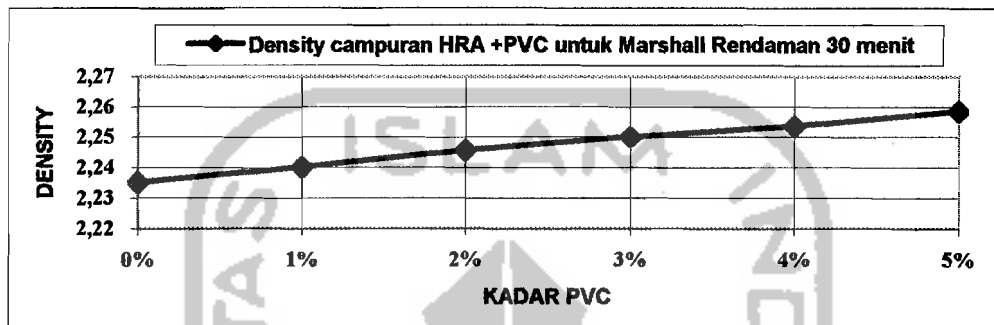
Gambar 6.4. Grafik Hubungan antara VFWA dengan Kadar *additive*PVC.

Dari gambar grafik 6.4 dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar *additive* PVC 1% sampai dengan 5% mengakibatkan peningkatan nilai VFWA. Hal ini sesuai dengan nilai VITM yang semakin menurun, maka nilai VFWA semakin tinggi.

### 5. *Density*

Nilai kepadatan campuran (*Density*) menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *density* yang rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti : gradasi campuran, jenis dan

kualitas bahan susun, faktor pemadatan baik jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, dan penggunaan kadar aspal dalam campuran. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *density* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.5 berikut ini.



Gambar 6.4. Grafik Hubungan antara *Density* dengan Kadar *additive PVC*.

Dari gambar grafik 6.4 nilai *Density* dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar *additive PVC* dari kadar 0% sampai dengan 5% pada kadar aspal optimum (KAO), mengakibatkan nilai *density* campuran meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *additive PVC* dapat meningkatkan workabilitas campuran karena titik cair *PVC* lebih rendah dibanding dengan aspal sehingga penyusunan butiran agregat didalam campuran semakin baik dan mengakibatkan kerapatan campuran menjadi tinggi.

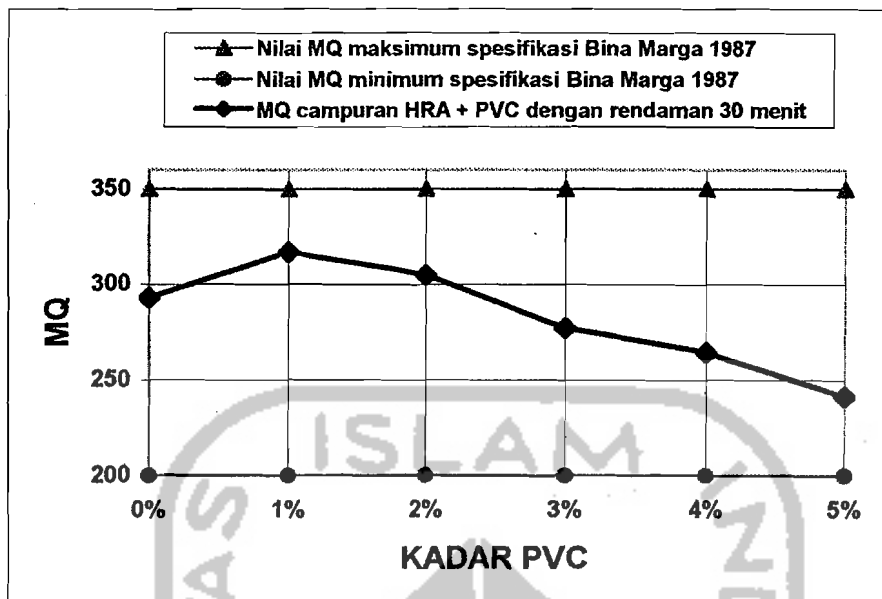
Secara teoritis nilai *density* yang semakin tinggi maka akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *density* yang rendah, tetapi penelitian menghasilkan sebaliknya hal ini dikarenakan pada penambahan *additive PVC* pada aspal menyebabkan adanya penambahan volume aspal sehingga aspal mengisi pada rongga-rongga yang ada, pengisian rongga oleh aspal akan meningkatkan workabilitas campuran pada saat pemadatan karena dengan adanya

volume aspal yang mengisi rongga maka proses pemadatan perkerasan akan lebih mudah.

Dalam spesifikasi teknik campuran Beton Aspal tidak ada persyaratan khusus dari Bina Marga mengenai nilai *density*. Nilai *density* digunakan untuk persyaratan teknis lapangan, yaitu kepadatan lapangan tidak boleh kurang dari 96% kepadatan laboratorium.

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

Nilai *Marshall Quotient* biasa dipakai sebagai pendekatan untuk mengukur tingkat fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Nilai ini merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow* (kelelehan). 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 *flow* dan stabilitas seperti bentuk, kualitas, tekstur permukaan, gradasi agregat, daya lekat, kadar aspal, viskositas aspal, jumlah dan temperatur pemadatan. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Marshall Quotient* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.5 berikut ini.



Gambar 6.5. Grafik Hubungan antara *Marshall Quotient* dengan Kadar *PVC*

Dari gambar 6.5 nilai *Marshall Properties* dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar *additive PVC* dari 0% sampai dengan 1% nilai nilai MQ mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *additive PVC* 1% nilai bagi antara stabilitasnya dan *flow* meningkat, hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kadar *additive* menyebabkan nilai stabilitas meningkat walaupun nilai *flow* naik. Kenaikan nilai *flow* pada aspal dengan *additive PVC* 1% mengindikasikan bahwa campuran lebih mempunyai fleksibilitas. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan bahwa mampu menahan lendutan yang terjadi tanpa mengalami kerusakan yang berarti dan tetap mempunyai fleksibilitas yang tinggi.

Dari grafik yang sama, campuran *HRA* dengan kadar *additive PVC* 2% sampai dengan 5% nilai MQ mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *additive* 2% sampai dengan 5% nilai stabilitasnya menurun dan meningkatkan *flow* (kelelehan) sehingga nilai *MQ*-nya akan turun. Nilai *marshall*

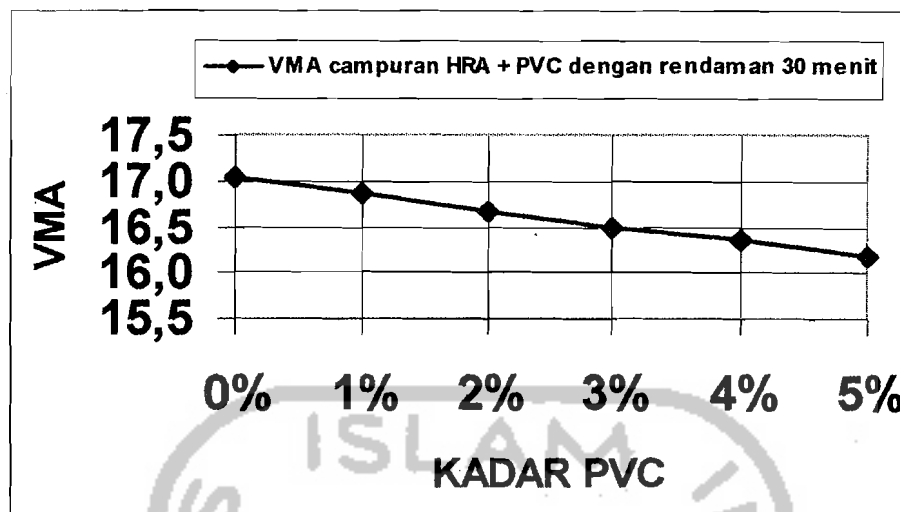


*quotient* yang rendah menunjukkan bahwa campuran kurang mampu menahan lendutan yang terjadi tanpa mengalami kerusakan pada perkerasan itu sendiri.

Nilai *marshall quotient* yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 200 kg/mm – 350 kg/mm. Nilai *Marshall quotient* dibawah 200 kg/mm akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *bleeding*, dan *rutting*, sedangkan nilai *marshall quotient* diatas 500 kg/mm mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak. Nilai *MQ* pada campuran *HRA* dengan variasi *additive PVC* diatas masuk dalam spesifikasi Bina Marga.

#### 7. *Void Mix Agregate (VMA)*

VMA adalah rongga udara yang diantara agregat dalam campuran agregat dan aspal yang sudah dipadatkan termasuk rongga yang terisi aspal, dinyatakan dalam prosentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. 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, energi pemadatan, kadar aspal, tekstur permukaan, bentuk butir dan serapan air oleh agregat. Hubungan nilai VMA dan kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.6 berikut ini.



Gambar 6.6. Grafik Hubungan antara *Void Mix Agregate* (VMA) dengan Kadar *additive PVC*

Dari gambar 6.6 dapat ditunjukkan hubungan nilai VMA dengan kadar *additive PVC*. Nilai VMA cenderung menurun seiring dengan penambahan kadar *additive PVC* pada campuran. Nilai VMA yang turun diakibatkan karena semakin besar kadar *PVC* workabilitas campuran semakin tinggi karena aspal *PVC* memiliki kemampuan dalam mengisi rongga campuran sehingga campuran lebih rapat.

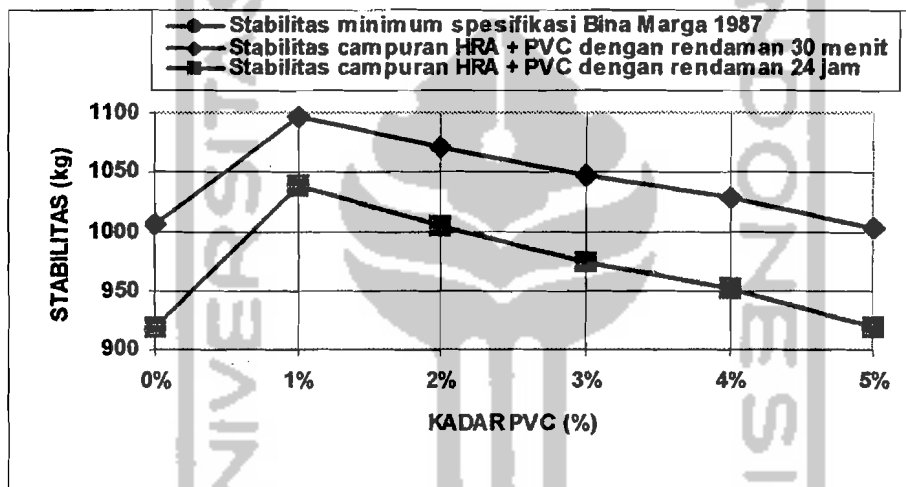
Kerapatan yang dihasilkan akibat dari adanya kemampuan agregat untuk memposisikan dirinya pada posisi yang bagus dan menimbulkan kerapatan tinggi yang dipengaruhi oleh adanya penambahan volume aspal dalam campuran, penambahan volume aspal disini membantu sekali dalam proses pergeseran agregat pada saat pemadatan berlangsung.

Spesifikasi Bina Marga 1987 mensyaratkan VMA untuk campuran dengan berdasarkan ukuran terbesar agregat yang digunakan, dalam hal ini adalah untuk agregat *3/8 inch* dengan VMA minimal 16%.

## 6.2.2. Marshall Properties Rendaman 24 jam

### 1. Stabilitas Marshall

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk. Pada stabilitas rendaman 24 jam dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan perkerasan untuk menahan beban pada kondisi banjir. Nilai stabilitas rendaman 24 jam dapat dilihat pada Gambar 6.7 berikut ini.



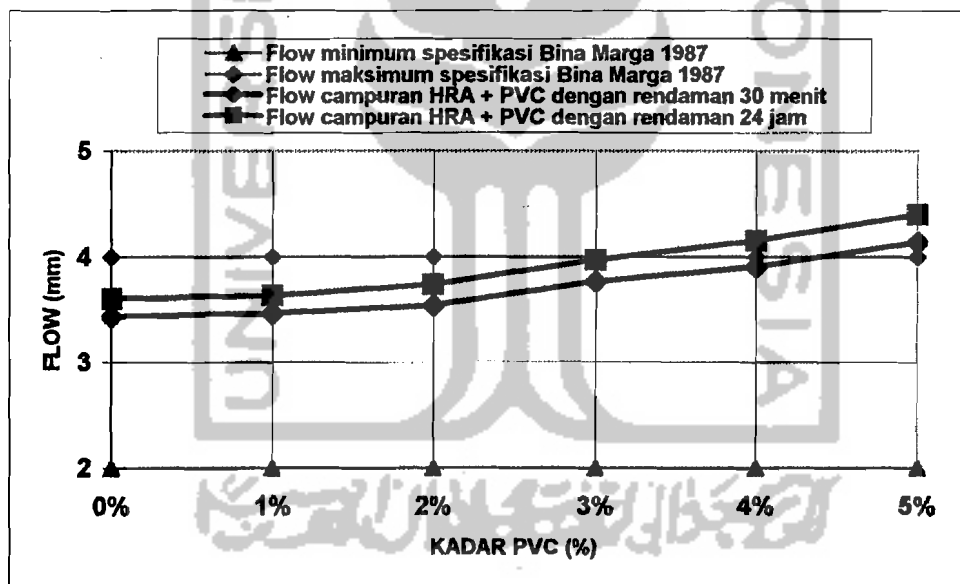
Gambar 6.6. Grafik Hubungan antara Stabilitas dengan Kadar *additive*PVC

Dari gambar 6.6 diketahui nilai stabilitas pada rendaman 24 jam ini mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai stabilitas pada rendaman 30 menit. Hal ini karena sifat air yang merusak. Sifat air yang merusak ini menyebabkan ikatan adhesi antara aspal dengan agregat terganggu akibat kehadiran air

### 2. Flow (Kelelehan)

Kelelehan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan

panjang (mm). Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *flow* adalah gradasi campuran, kadar dan aspal, jenis batuan, jumlah dan temperatur pemadatan. *Flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis konstruksi perkerasan. Campuran yang memiliki *flow* rendah dan stabilitas tinggi menunjukkan campuran tersebut bersifat kaku dan mudah retak (*Cracking*) jika menerima beban yang melebihi daya dukungnya. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk (deformasi) akibat beban lalu lintas. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.7 berikut ini.



Gambar 6.7. Grafik Hubungan antara *Flow* dengan Kadar *additive*PVC

Dari gambar 6.7 diketahui nilai *flow* pada rendaman 24 jam lebih tinggi dari nilai *flow* rendaman 30 menit. Kenaikan nilai *flow* ini karena pada rendaman 24 jam diasumsikan campuran pada kondisi jenuh dimana efek kehadiran air yang bersifat merusak pada suhu kritis aspal dapat terlihat jelas pengaruhnya. Efek kehadiran air pada suhu 60°C yang masuk kedalam rongga-rongga campuran yang ada

menyebabkan campuran kurang tahan terhadap deformasi yang terjadi akibat beban. Menurut Tia dan Wood (1985), pengaruh kehadiran air pada campuran akan berakibat hilangnya ikatan adhesi antar agregat dan aspal, berkurangnya kekuatan dan stabilitas. Selain itu, pengaruh air akan juga mengurangi nilai kekakuan campuran beraspal.

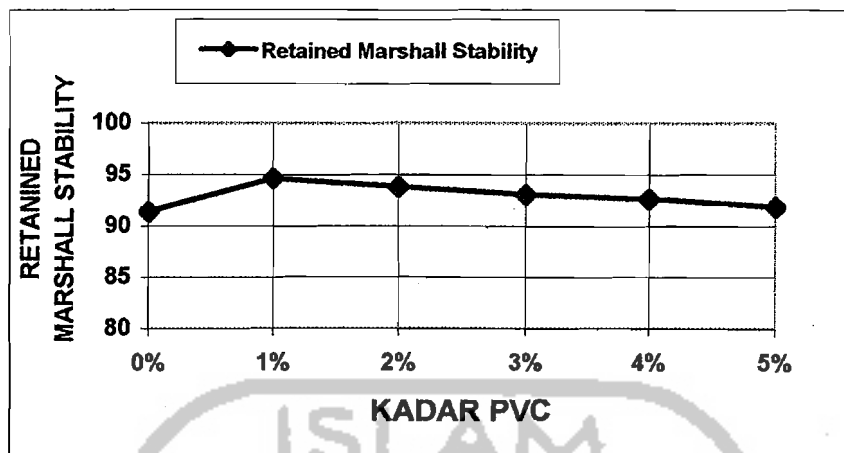
Nilai *flow* pada kadar additive 0% sampai dengan 3% masih masuk dalam spesifikasi Bina Marga, tetapi pada kadar *additive PVC* 4% dan 5% nilai *flow* diluar spesifikasi yang disyaratkan. Nilai *flow* pada *additive PVC* 4% adalah 4,15 mm dan pada *additive PVC* 5% adalah 4,4 mm.

### 3. *Retained Marshall Stability*

*Retained Marshall Stability* (indeks kekuatan sisa *Marshall*) dihasilkan karena adanya proses perendaman. Indeks ini menunjukkan kekuatan sisa 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 pengaruh air.

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

Pengaruh kadar *PVC* pada kadar aspal optimum terhadap *Retained Marshall Stability* dapat dilihat pada Gambar 6.7 berikut ini .



Gambar 6.7. Grafik Hubungan antara *Retained Marshall Stability* dengan Kadar *additive PVC*

Dari gambar 6.7 diketahui pada campuran *HRA* dengan penambahan kadar *additive PVC* dari 0% sampai dengan 1% didapat nilai *retained strength* mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan *PVC* mampu memberikan kontribusi yang berarti pada daya tahan campuran *HRA* terhadap kehadiran air dan udara. *Polyvinyl Chloride* mampu menstabilkan gaya adhesi antara aspal dengan agregat dan gaya kohesi pada kadar *PVC* 1% ini dapat mengimbangi adanya penyelimutan agregat yang lebih tebal dari pada aspal tanpa *PVC*. Sebaliknya pada penambahan kadar *PVC* 2% sampai dengan 5% nilai *Retained Marshall Stability* mengalami penurunan. Hal ini karena gaya kohesi yang dihasilkan *PVC* kurang dapat mengimbangi adanya penambahan volume yang terjadi akibat penambah *additive PVC* pada kadar ini, sehingga aspal berubah fungsi sebagai pelicin yang berakibat pada kemampuan dalam menahan beban oleh perkerasan, dalam hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas yang mengalami penurunan pada kadar *additive PVC* yang sama.

Nilai *retained strength* pada kadar *additive* 1% lebih besar daripada *retained strength* pada campuran *HRA* dengan kadar *additive PVC* 2% sampai dengan 5%.

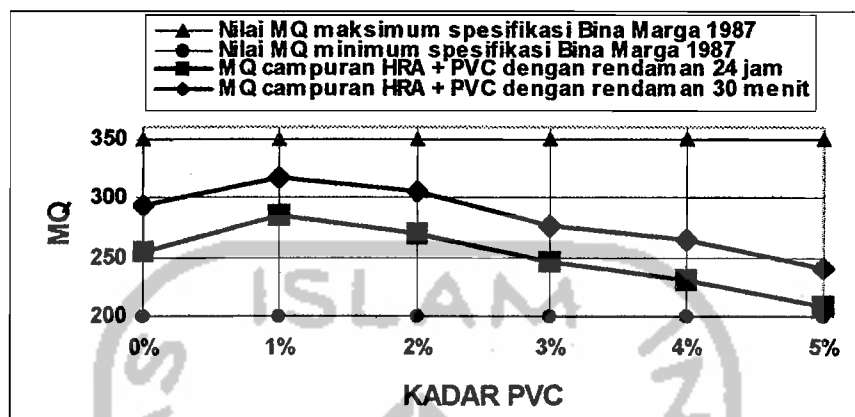
Nilai *retained strength* yang tinggi menunjukkan ketahanan yang baik terhadap pengaruh air akibat perendaman, tetapi nilai *retained strength* pada kadar *additive PVC* 2% sampai dengan 5% mengalami penurunan dikarenakan adanya penggerusan yang dilakukan oleh air terhadap aspal *PVC*. Penambahan *additive PVC* dengan kadar 2% sampai 5% selain menimbulkan penambahan volume juga efek penggerusan oleh air terhadap *PVC* juga makin besar. Hal ini bisa juga merupakan efek samping dari peningkatan kohesi yang cenderung tetap, sehingga penambahan *additive PVC* 2% sampai 5% pada kadar aspal 6,106 % membuat aspal *PVC* cenderung tidak tahan terhadap efek penggerusan oleh air, tetapi nilai *retained strength* pada penambahan *additive pvc* 2% sampai 5% masih lebih besar daripada pada aspal *PVC* 0% dikarenakan pada aspal *pvc* memiliki nilai kohesi yang lebih tinggi dibanding pada aspal biasa.

Dalam produksi pipa paralon tetap diperhitungkan adanya ketebalan aman, sehingga apabila efek penggerusan terjadi pipa paralon tetap dapat berfungsi baik selama masa pelayanan.

#### 4. *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* biasa dipakai sebagai pendekatan untuk mengukur tingkat fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Nilai ini merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow* (kelelehan). 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*. Dari

hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Marshall Quotient* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.8 berikut ini.



Gambar 6.8. Grafik Hubungan antara *Marshall Quotient* dengan Kadar *additive PVC*

Dari gambar grafik 6.8 diketahui nilai *marshall quotient* pada campuran *HRA* rendaman 24 jam mempunyai nilai yang lebih kecil dari nilai *marshall quotient* campuran *HRA* rendaman 30 menit. Hal ini dikarenakan penambahan *additive PVC* mengakibatkan penambahan volume dan nilai kohesi yang dihasilkan relatif tetap, sehingga campuran cenderung tidak tahan terhadap air karena kehadiran air dapat menyebabkan nilai stabilitas menurun sehingga menyebabkan nilai MQ menurun. Tia dan Wood (1985) menyatakan bahwa adanya kehadiran air akan mengurangi kekakuan campuran beraspal, dalam hal ini nilai MQ. karena air akan menyebabkan *adhesi* dan kohesi campuran menjadi lemah sehingga pada saat terkena beban, ikatan antara agregat dalam campuran menjadi lemah, ditandai dengan menurunnya nilai stabilitas dan naiknya *flow*, sehingga nilai MQ turun.

Nilai *marshall quotient* yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 200 kg/mm – 350 kg/mm. Nilai *Marshall quotient* dibawah 200 kg/mm akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *bleeding*, dan *rutting*, sedangkan nilai



*marshall quotient* diatas 500 kg/mm mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak. Nilai *MQ* pada campuran *HRA* dengan variasi *additive PVC* 0% sampai dengan 5% diatas masuk dalam spesifikasi Bina Marga.

### 6.2.2 Indirect Tensile Test ( Pengujian Tarik Tak Langsung)

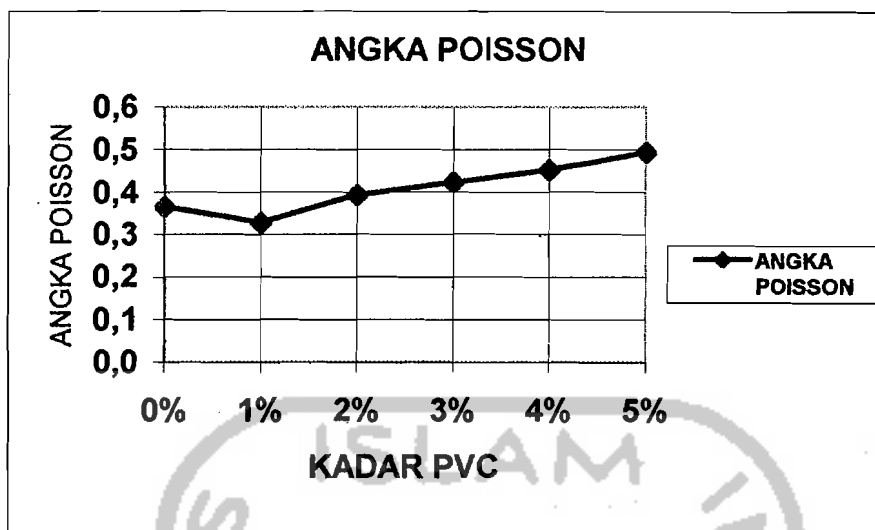
#### 1. Angka Poisson

Dengan menggunakan kadar aspal optimum dan kadar *additive PVC* yang diperoleh dari pengujian *Marshall*, dengan menggunakan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) untuk menentukan besarnya angka *Poisson* didapatkan hasil sesuai dengan Tabel 6.8 berikut ini.

Tabel 6.8. Angka *Poisson* Campuran *HRA* dengan *PVC*

| Kadar <i>PVC</i> | Angka <i>Poisson</i> | Load<br>( N ) |
|------------------|----------------------|---------------|
| 0%               | 0,366                | 3104,9383     |
| 1%               | 0,328                | 3856,884      |
| 2%               | 0,3932               | 3070,805      |
| 3%               | 0,4223               | 2750,6173     |
| 4%               | 0,4518               | 2569,09867    |
| 5%               | 0,4932               | 2293,948      |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium PAU Teknik UGM



Gambar 6.9. Grafik Hubungan antara Angka Poisson dengan Kadar *additive PVC*

Dengan memperhatikan gambar 6.9 terlihat bahwa angka *Poisson* terendah pada jenis campuran *HRA* adalah pada kadar *additive PVC* 1% yaitu sebesar 0,3280. Campuran yang menghasilkan angka *Poisson* terendah mengindikasikan kecilnya perbandingan antara regangan horisontal dan regangan vertikal campuran, sehingga campuran tersebut mempunyai stabilitas dan kemampuan menyerap energi beban (*Modulus Resilient*) yang tinggi. Dari tabel yang sama, campuran *HRA* dengan kadar *additive PVC* 2% sampai dengan 5% memiliki angka *Poisson* yang semakin naik dan nilainya lebih besar daripada campuran *HRA* dengan kadar *additive PVC* 1% dan 0% karena campuran *HRA* dengan bertambahnya kadar *additive PVC* memiliki volume aspal yang berlebih dan bersifat plastis sehingga perbandingan antara regangan horisontal dengan regangan vertikal menjadi besar tetapi keplastisan ini tidak dapat menahan beban yang besar sehingga beban yang dapat diterima oleh campuran *HRA* ini semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *HRA* dengan kadar *additive PVC* 1% lebih tinggi daripada campuran *HRA* tanpa bahan tambah dan campuran *HRA* dengan kadar *additive PVC* 2% sampai dengan 5%.

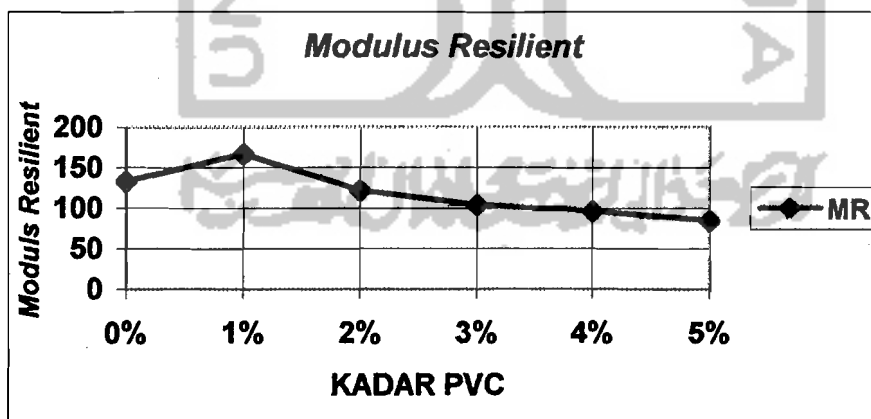
## 2. Modulus Resilient

Pembebanan yang dilakukan untuk penghitungan *Modulus Resilient* ( $M_R$ ) adalah pembebanan dengan beban statis pada uji tarik tak langsung berdasarkan (ASTM D4123-82), didapatkan hasil sesuai dengan Tabel 6.9 berikut ini.

**Tabel 6.9.** *Modulus Resilient Campuran HRA dengan PVC*

| Kadar PVC | Load<br>(N) | Angka<br>Poisson | Modulus Resilient<br>(Mpa) |
|-----------|-------------|------------------|----------------------------|
| 0%        | 3104,9383   | 0,366            | 132,6258                   |
| 1%        | 3856,884    | 0,3280           | 167,0949                   |
| 2%        | 3070,805    | 0,3932           | 121,9131                   |
| 3%        | 2750,6173   | 0,4223           | 103,3879                   |
| 4%        | 2569,0987   | 0,4518           | 96,0312                    |
| 5%        | 2293,948    | 0,4932           | 84,4684                    |

Sumber : Hasil penelitian di Laboratorium PAU Teknik UGM

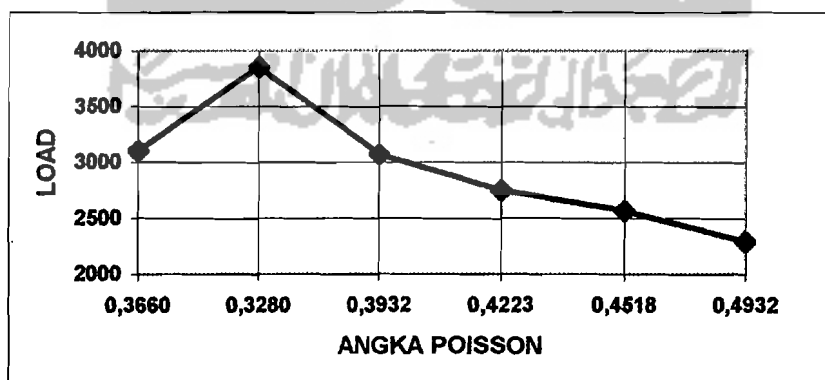


Gambar 6.9. Grafik Hubungan *Modulus Resilient* dengan Kadar *additive PVC*

Dari gambar 6.9 terlihat bahwa pada penambahan kadar *additive PVC* 0% sampai dengan 1% nilai *Modulus Resilient* mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan pada penambahan *additive PVC* 1% mampu menaikkan kohesi campuran aspal

sehingga kemampuan dalam menahan beban meningkat. *Modulus Resilient* (modulus Kenyal ) adalah kemampuan campuran dalam menyerap energi dalam jangkauan elastis, pada penambahan *PVC* 1% kohesi yang dihasilkan masih mampu mengimbangi penambahan volume yang diwujudkan dalam penambahan ketebalan *film* aspal sehingga daya tahan terhadap beban yang diterima tinggi akibat dari lekatan antara agregat dan aspal yang terjadi. Sebaliknya pada penambahan *additive PVC* dengan kadar 2% sampai dengan 5% mengakibatkan penambahan volume aspal, tetapi penambahan kohesi yang dihasilkan cenderung tetap sehingga keplastisan akibat penambahan volume aspal menjadi semakin besar dan terbukti dengan menurunnya kemampuan campuran *HRA* dalam menahan beban yang terjadi, karena efek yang ditimbulkan pada penambahan volume ini adalah perubahan fungsi aspal menjadi pelicin sehingga aspal akan mudah terdeformasi akibat adanya beban walaupun beban yang terjadi tidak terlalu besar.

Pengaruh angka *Poisson* terhadap *Load* yang mampu diterima campuran dapat dilihat pada Gambar 7.1 berikut ini.



Gambar 7.1. Grafik Hubungan *Load* dengan Angka *Poisson*

Dari gambar 7.1 terlihat bahwa kenaikan nilai beban yang dapat ditahan oleh campuran *HRA* diiringi dengan penurunan angka *poisson*, dan penurunan nilai beban

yang terjadi diiringi dengan kenaikan nilai *Poisson*. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin angka *Poisson* kemampuan dalam menahan beban semakin tinggi.

