

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Sifat Fisik Material

Pengujian sifat fisik material terdiri atas pengujian karakteristik agregat, pengujian karakteristik aspal dan pengujian serat *Polypropylene (PP)*. Tujuan dari pengujian sifat fisik material yaitu untuk mengetahui kelayakan material yang digunakan pada penelitian.

5.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat terdiri dari pengujian agregat kasar dan agregat halus. Data yang diperoleh dari pengujian ini telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

1. Agregat Kasar

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis a. Berat Jenis <i>Bulk</i> b. Berat Jenis <i>SSD</i> c. Berat Jenis <i>Apparent</i>	a. 2,62 b. 2,66 c. 2,75	Min. 2,5	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	1,83	Maks. 3	Memenuhi
3.	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	98	Min. 95	Memenuhi
4.	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	13,91	Maks. 40	Memenuhi

Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu.

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar Clereng adalah sebesar 2,682 dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 2,5$.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan suatu material untuk dapat menyerap air, pori atau rongga pada agregat. Semakin banyak rongga pada agregat maka dibutuhkan lebih banyak aspal karena nilai penyerapannya yang semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar Clereng terhadap air adalah sebesar 1,83% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\leq 3\%$.

c. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan agregat yang diselimuti oleh aspal. Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal adalah sebesar 98% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 95\%$.

d. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan. Keausan dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula. Hasil pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* adalah sebesar 13,91% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\leq 40\%$.

2. Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis a. Berat Jenis <i>Bulk</i> b. Berat Jenis SSD c. Berat Jenis <i>Apparent</i>	a. 2,52 b. 2,61 c. 2,76	Min. 2,5	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2,38	Maks. 3	Memenuhi
3.	<i>Sand Equivalent</i> (%)	63,45	Min. 60	Memenuhi

Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat halus yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng adalah sebesar 2,685 dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 2,5$.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan suatu material untuk dapat menyerap air, pori atau rongga pada agregat. Semakin banyak rongga pada agregat maka dibutuhkan lebih banyak aspal karena nilai penyerapannya yang semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar Clereng terhadap air adalah sebesar 2,38% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\leq 3\%$.

c. *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* dimaksudkan untuk menentukan kadar lumpur dan lempung yang terkandung pada agregat halus. Hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng adalah sebesar 63,45% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 60\%$. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus Clereng tidak banyak memiliki kandungan lumpur atau lempung yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

5.1.2 Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pen 60/70 dari Pertamina yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Data yang didapatkan dari pengujian ini mengacu pada persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,067	Memenuhi
2.	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	61,70	Memenuhi
3.	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4.	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	290	Memenuhi
5.	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,15	Memenuhi
6.	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48,75	Memenuhi

Pembahasan terhadap pengujian karakteristik aspal yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 1,067 dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk menentukan tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Hasil pengujian penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 61,70 mm dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu antara 60-70 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal sehingga aspal dapat mengikat butir-butir agregat lebih baik. Hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 164 cm dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala

Pengujian titik nyala menentukan suhu saat aspal mulai terlihat nyala singkat yang bertujuan untuk mengetahui temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Hasil pengujian titik nyala adalah sebesar

290°C dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

5. Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCl_4)

Pengujian kelarutan dengan CCl_4 bertujuan untuk mengetahui persentase kemurnian aspal. Semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan agregat. Hasil pengujian kelarutan aspal dengan CCl_4 adalah sebesar 99,155% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar $\geq 99\%$.

6. Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui temperatur saat aspal mulai berubah bentuk menjadi lunak. Hasil pengujian titik lembek aspal adalah sebesar $48,5^\circ\text{C}$ dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar 48°C .

5.1.3 Pengujian Serat *Polypropylene* (PP)

Serat *Polypropylene* (PP) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Findotek. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian titik leleh untuk mengetahui suhu serat saat mengalami perubahan bentuk. Setelah dilakukan pengujian didapat nilai titik lelehnya sebesar 70°C .

5.2 Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

5.2.1 Hasil Pengujian

Pengujian kadar aspal optimum pada penelitian ini menggunakan pengujian *Marshall* dengan mendapatkan nilai-nilai karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void In Total Mix*), *MQ* (*Marshall Quotient*) dan kepadatan (*density*) dari campuran *HRS-WC* dengan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70.

Kadar aspal optimum pada campuran *HRS-WC* ditentukan berdasarkan kriteria parameter dengan nilai stabilitas minimum 800 kg, nilai *flow* minimum 3 mm, nilai *VMA* minimum 18%, nilai *VFWA* minimum 60%, nilai *VITM* 4-6% dan nilai *MQ* minimum 250 kg/mm. Pada pengujian *Marshall* yang memenuhi seluruh

parameter tersebut akan didapatkan nilai batas maksimum dan batas minimum, kemudian nilai kadar aspal optimum didapatkan dari nilai tengah batas maksimum dan minimum tersebut. Pada pengujian ini dicari nilai kadar aspal optimum dengan kadar serat *PP* 0% dan kadar serat *PP* 1,6% untuk mengetahui dan membandingkan nilai KAO, jika hasilnya mendekati maka hanya akan dipakai satu KAO saja. Hasil pengujian untuk kadar aspal optimum adalah sebagai berikut.

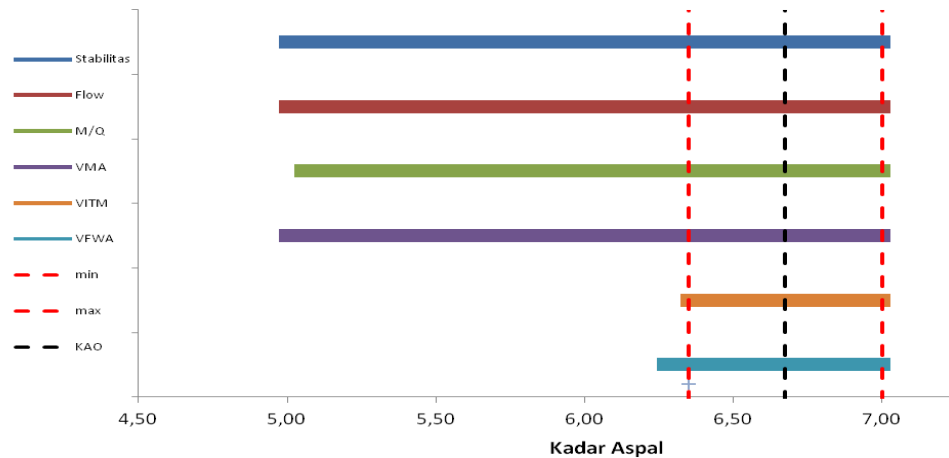
1. Kadar Aspal Optimum untuk Kadar Serat *PP* 0%

Hasil Pengujian *Marshall* untuk kadar serat *PP* 0% dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut..

Tabel 5.4 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO dengan Kadar Serat *PP* 0%

No	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	MQ (kg/mm)
1	5	1121,46	4,64	18,32	58,55	7,6	241,44
2	5,5	2226	4,52	19,13	61,36	7,39	501,44
3	6	1716,8	4,86	19,74	64,76	6,96	354,92
4	6,5	1363,63	5,2	19,83	70,12	5,93	260,06
5	7	1643,25	5,24	20,74	71,86	5,84	313,37

Grafik pengujian *Marshall* untuk KAO dengan kadar serat *PP* 0% adalah sebagai berikut.



Gambar 5.1 Penentuan KAO dengan Kadar Serat PP 0%

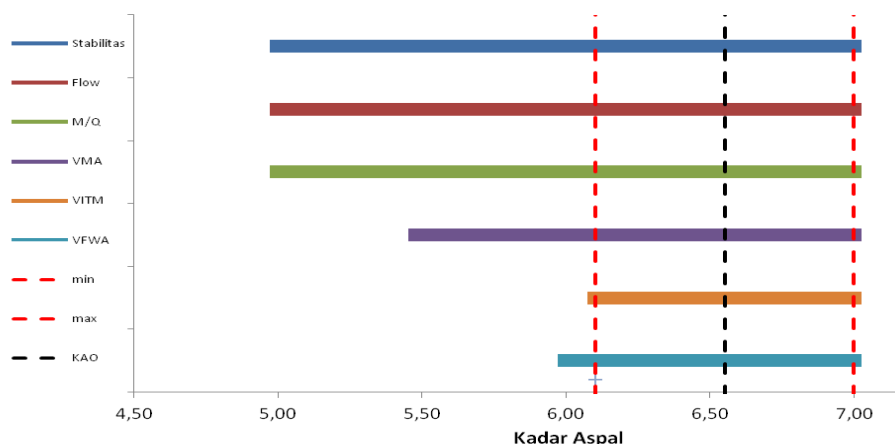
2. Kadar Aspal Optimum untuk Kadar Serat PP 1,6%

Hasil Pengujian *Marshall* untuk kadar serat PP 1,6% dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO dengan Kadar Serat PP 1,6%

No	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	MQ (kg/mm)
1	5	1741,26	5,46	17,99	59,85	7,22	317,75
2	5,5	2779,07	5,06	18,06	65,91	6,17	547,95
3	6	2142,84	5,77	18,98	68,01	6,09	370,56
4	6,5	2272,76	5,93	19,28	72,63	5,28	383,98
5	7	1828,42	6,05	20,16	74,37	5,17	302,25

Grafik pengujian *Marshall* untuk KAO dengan kadar serat PP 1,6% adalah sebagai berikut.



Gambar 5.2 Penentuan KAO dengan Kadar Serat PP 1,6%

5.2.2 Pembahasan

Parameter untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* adalah berdasarkan nilai stabilitas, *flow*, *VMA*, *VITM*, *VFWA* dan *MQ*. Pada penelitian ini dicari KAO dengan kadar serat *PP* 0% dan 1,6% (kadar serat maksimum). Pada pengujian *Marshall* dengan kadar serat *PP* 0% didapatkan KAO sebesar 6,675%, sedangkan pada pengujian dengan kadar serat *PP* 1,6% didapatkan KAO sebesar 6,55%. Nilai dua KAO tersebut hanya memiliki selisih sedikit yaitu sebesar 0,125%, oleh karena itu dapat digunakan satu KAO saja untuk mewakili variasi kadar serat lainnya. Nilai kadar aspal optimum yang digunakan yaitu sebesar 6,675%.

5.3 Karakteristik *Marshall* pada Campuran HRS-WC

5.3.1 Hasil Pengujian

Pengujian setelah penentuan kadar aspal optimum untuk tiap variasi kadar serat *Polypropylene* bertujuan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* pada campuran *HRS-WC*. Hasil pengujian *Marshall* campuran *HRS-WC* pada KAO untuk tiap variasi kadar serat *Polypropylene* dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

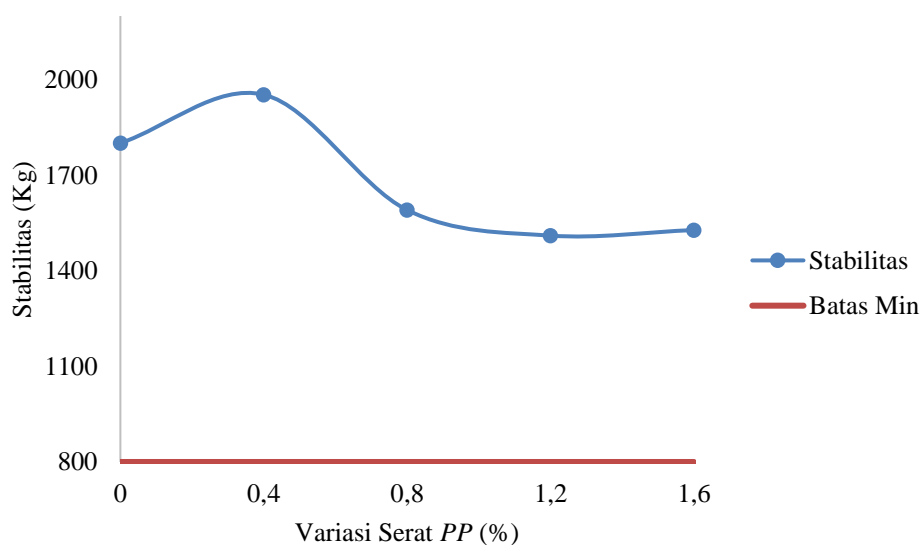
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* untuk Tiap Kadar Serat *Polypropylene*

Kadar Serat (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
0	1800,88	4,09	20,13	70,80	5,88	443,77	2,28
0,4	1953,02	3,90	20,03	71,25	5,77	545,71	2,28
0,8	1590,97	4,38	19,49	73,69	5,13	360,56	2,30
1,2	1510,66	4,43	19,34	74,41	4,95	348,44	2,30
1,6	1528,06	4,67	18,51	78,70	3,98	329,80	2,32
Spesifikasi	≥ 800	≥ 3	≥ 18	≥ 68	4-6	≥ 250	

5.3.2 Pembahasan

Pembahasan dari hasil pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Nilai Stabilitas
Grafik hasil nilai stabilitas akibat pengaruh penambahan dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



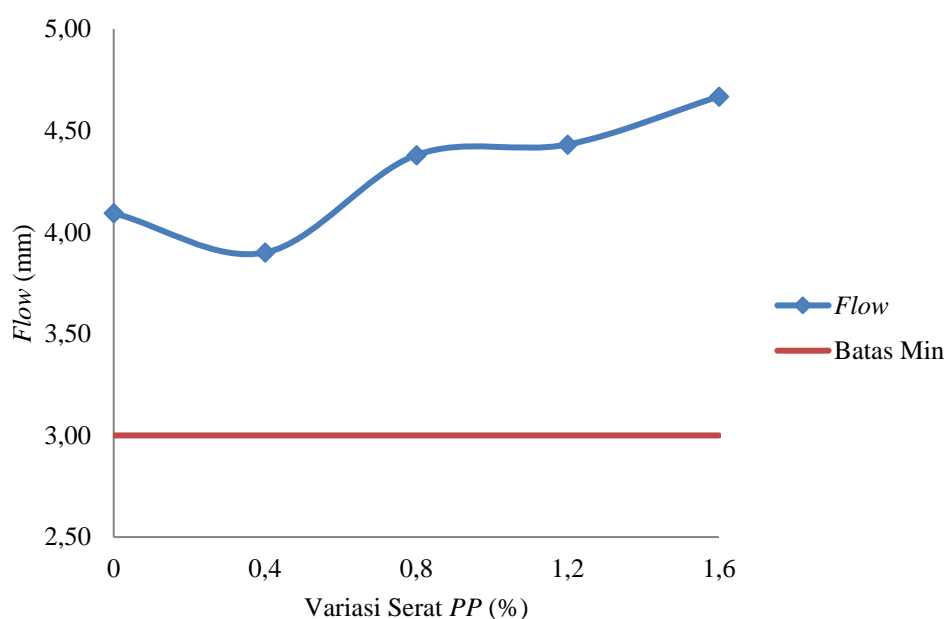
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan benda uji dalam menahan beban yang diterima tanpa terjadi deformasi. Pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa

terjadi peningkatan nilai stabilitas pada kadar serat *PP* 0,4% dan selanjutnya mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar serat *PP*. Menurunnya nilai stabilitas disebabkan oleh bertambahnya kadar serat *PP* yang meleleh pada saat pencampuran. Serat *PP* meleleh yang semula bisa berperan sebagai bahan pengikat agregat berubah menjadi pelicin antar agregat. Berdasarkan persyaratan Bina Marga 2010 Revisi 3 nilai stabilitas untuk campuran *HRS-WC* adalah minimal 800 kg, oleh karena itu semua kadar serat *PP* memenuhi persyaratan.

2. Analisis Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Nilai *Flow*

Grafik hasil nilai *flow* akibat penambahan serat *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



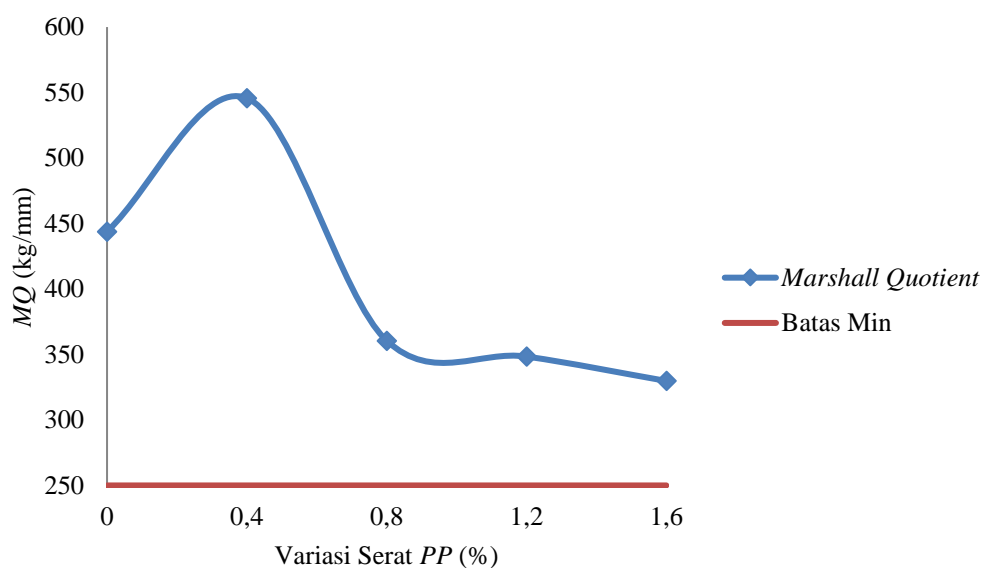
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai *Flow*

Nilai *flow* menunjukkan besarnya nilai deformasi yang terjadi akibat menahan beban yang diterima, terjadi pada saat mulai pembebanan sampai kondisi menurunnya stabilitas. Pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa pada penambahan kadar serat *PP* 0,4%, nilai *flow* menurun kemudian cenderung naik pada penambahan kadar serat *PP* selanjutnya. Hal ini disebabkan karena serat *PP* yang meleleh pada saat pencampuran dapat berperan sebagai bahan

pengikat agregat sehingga semakin bertambahnya kadar serat *PP* maka nilai *flow* semakin naik dan campuran akan semakin bersifat plastis. Nilai *flow* yang rendah menunjukkan bahwa campuran sangat kaku dan mudah retak. Sebaliknya jika nilai *flow* semakin tinggi maka campuran akan semakin bersifat plastis dan mudah mengalami deformasi saat menerima beban. Berdasarkan persyaratan Bina Marga 2010 Revisi 3 nilai *flow* untuk campuran *HRS-WC* adalah minimal 3 mm, oleh karena itu semua kadar serat *PP* memenuhi persyaratan.

3. Analisis Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Nilai *MQ*

Grafik hasil nilai *MQ* akibat penambahan serat *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



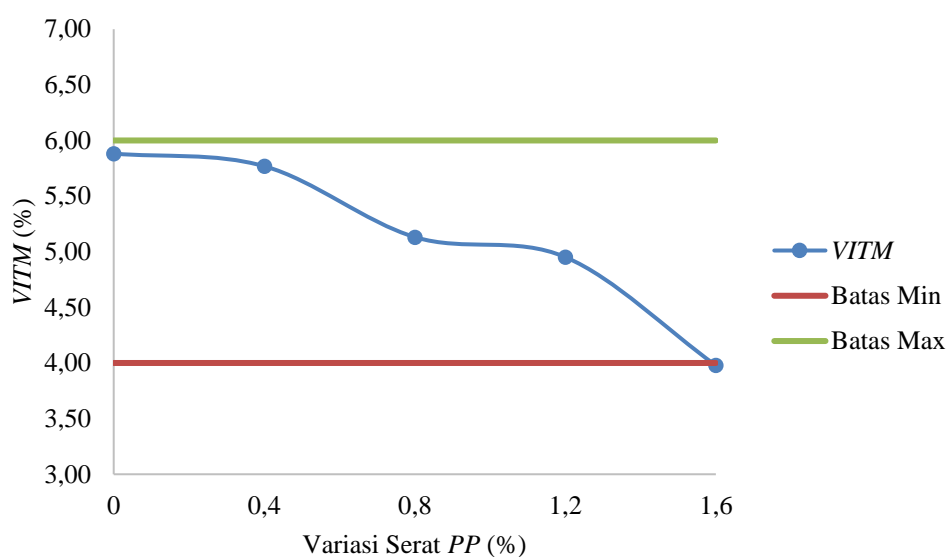
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai *MQ*

Nilai *MQ* merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas, yang artinya semakin tinggi nilai *MQ* suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Sebaliknya jika semakin kecil nilai *MQ*, maka semakin lentur campurannya. Pada Gambar 5.5 dapat dilihat nilai *MQ* terendah terjadi pada kadar serat 1,6%, hal ini disebabkan oleh nilai stabilitas yang rendah dan nilai *flow* yang tinggi sehingga campurannya bersifat terlalu lentur dan menjadi kurang stabil. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa campuran

HRS-WC untuk berbagai variasi kadar serat *PP* memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimal 250 kg/mm.

4. Analisis Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Nilai *Void in Total Mix (VITM)*

Grafik hasil nilai *VITM* akibat penambahan serat *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



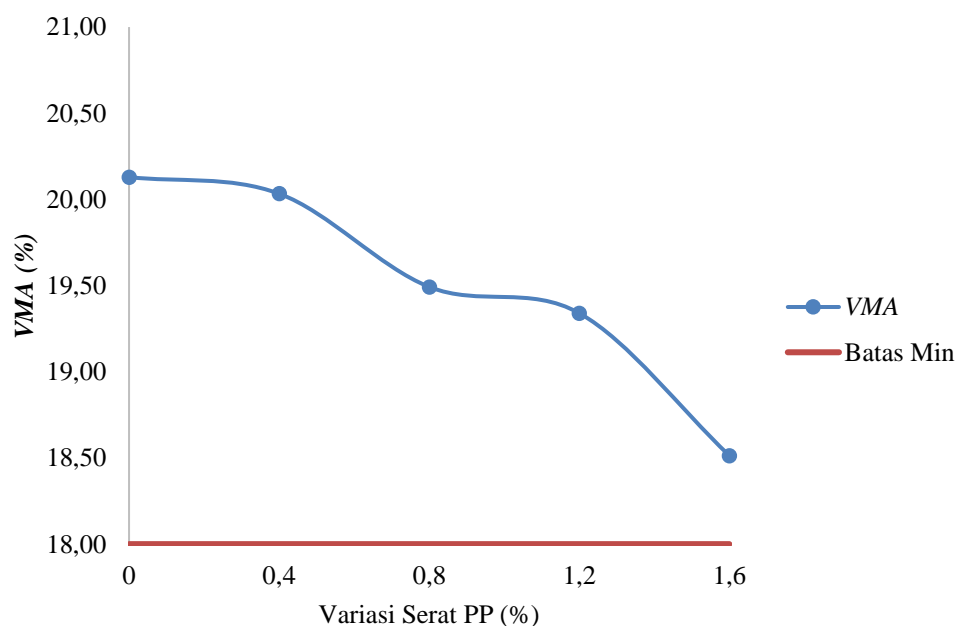
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai *VITM*

Nilai *VITM* menunjukkan persentase rongga yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. Rongga tersebut berfungsi sebagai tempat bergesernya agregat akibat beban lalu lintas berulang atau tempat apabila aspal melunak akibat perubahan temperatur. Pada Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar serat *PP*. Hal ini disebabkan karena rongga pada campuran semakin terisi oleh serat *PP* sehingga rongga semakin kecil dan campuran semakin padat. Nilai *VITM* berpengaruh terhadap durabilitas. Semakin besar nilai *VITM* menunjukkan campuran bersifat keropos. Proses ini mengakibatkan udara dan air mudah masuk ke dalam lapis perkerasan

sehingga meningkatkan proses oksidasi yang dapat mempercepat penuaan aspal. Apabila nilai *VITM* kecil, maka campuran akan bersifat lebih kedap air, tetapi nilai *VITM* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan terjadinya *bleeding* pada lapis perkerasan pada saat temperatur meningkat. Pada penelitian ini nilai *VITM* untuk kadar serat 0-1,2% telah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 dengan nilai yaitu 4-6%, kecuali pada kadar serat *PP* 1,6% karena memiliki nilai sebesar 3,98%.

5. Analisis Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Grafik hasil nilai *VMA* akibat penambahan serat *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



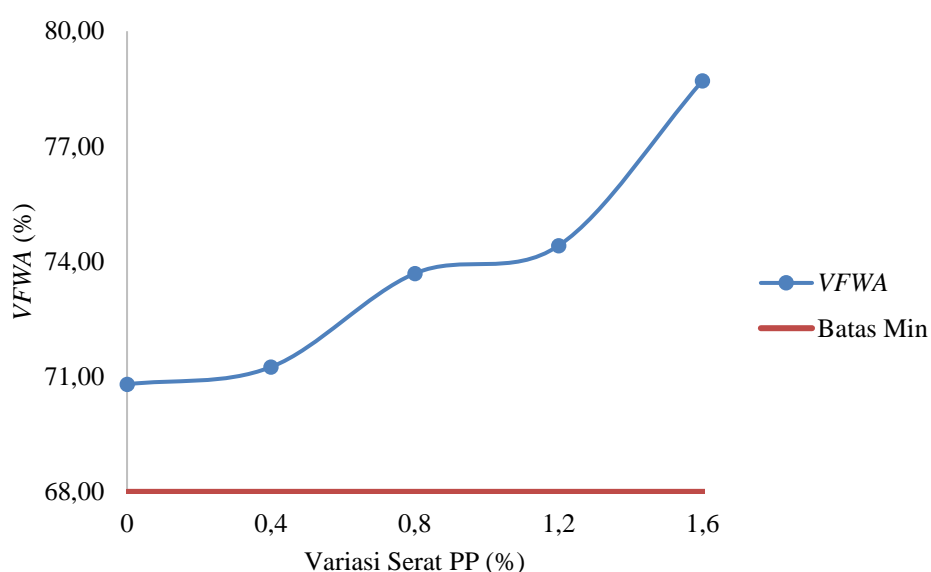
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai *VMA*

Nilai *VMA* menunjukkan persentase rongga antar butiran agregat dalam suatu campuran. Pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa nilai *VMA* pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring meningkatnya kadar serat *PP*. Hal ini disebabkan karena kadar serat *PP* yang semakin mengisi rongga campuran antar agregat, sehingga pori semakin kecil dan rongga antar butiran agregat menjadi berkurang. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa campuran *HRS-*

WC untuk berbagai variasi kadar serat *PP* memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimal 18 %.

6. Analisis Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Nilai *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Grafik hasil nilai *VFWA* akibat penambahan serat *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai *VFWA*

Nilai *VFWA* menunjukkan persentase rongga yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* pada campuran *HRS-WC* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar serat *PP*. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya kadar aspal dan serat *PP* yang mengisi rongga campuran sehingga membuat kekedapan campuran semakin meningkat. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa campuran *HRS-WC* untuk berbagai variasi kadar serat *PP* memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimal 68 %.

5.4 Kekuatan Tarik Tak Langsung pada Campuran HRS-WC

5.4.1 Hasil Pengujian

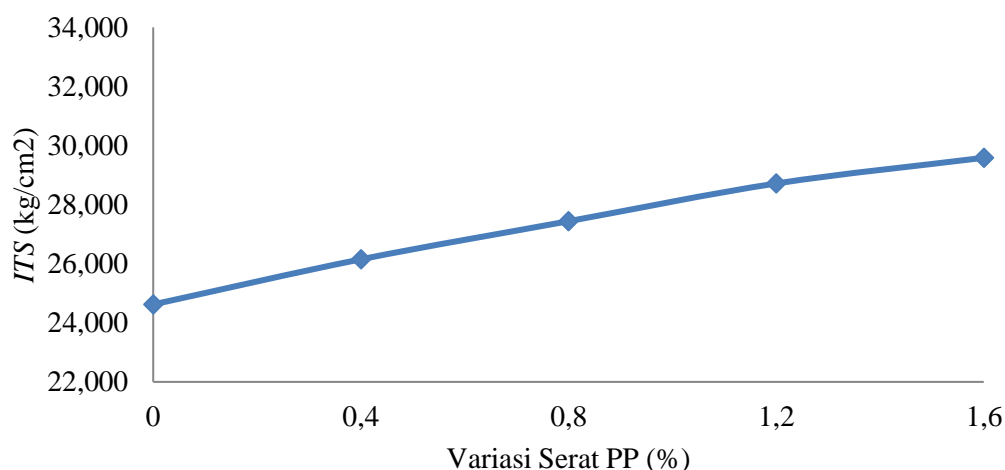
Indirect Tensile Strength (ITS) merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung pada campuran aspal akibat beban lalu lintas. Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran HRS-WC tiap variasi kadar serat *Polypropylene* dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* untuk Tiap Kadar Serat *Polypropylene*

Kadar Serat <i>Polypropylene</i> (%)	<i>Indirect Tensile Strength</i> (kg/cm ²)
0	24,622
0,4	26,148
0,8	27,438
1,2	28,715
1,6	29,585

5.4.2 Pembahasan

Grafik nilai *ITS* akibat penambahan serat PP dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai *ITS* pada campuran *HRS-WC* meningkat seiring dengan penambahan kadar serat *PP*. Hal ini disebabkan karena pengaruh serat *PP* yang meleleh pada saat pencampuran dan pematatan yang mengakibatkan serat tersebut dapat lebih mengikat agregat sehingga deformasi yang terjadi pada campuran *HRS-WC* lebih kecil seiring bertambahnya kadar serat *PP*.

5.5 Ketahanan Aus pada Campuran *HRS-WC*

5.5.1 Hasil Pengujian

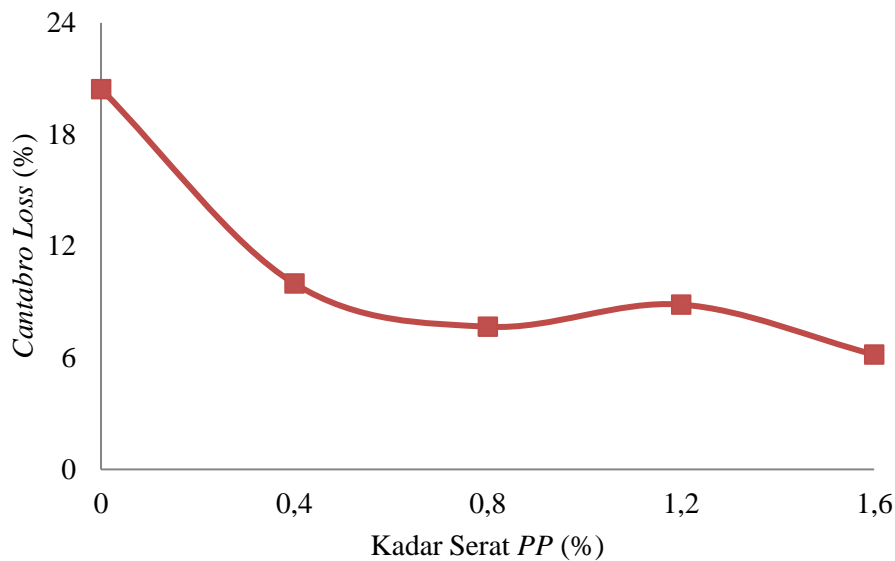
Ketahanan aus suatu campuran didapatkan dari pengujian *Cantabro* dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai kehilangan beratnya. Pelaksanaan pengujian ini yaitu dengan memasukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* tanpa bola-bola baja. Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengetahui besarnya batas kekuatan hancur akibat pengaruh *impact* (tumbukan/pembebanan) beban roda lalu lintas pada lapis perkerasan. Hasil pengujian *Cantabro* campuran *HRS-WC* pada KAO tiap variasi kadar serat *polypropylene* dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro* untuk Tiap Kadar Serat *Polypropylene*

Kadar Serat <i>Polypropylene</i> (%)	Kehilangan Berat (%)
0	20,441
0,4	9,992
0,8	7,669
1,2	8,861
1,6	6,171

5.5.2 Pembahasan

Nilai kehilangan berat pada campuran *HRS-WC* akibat penambahan serat *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.10 Grafik Pengaruh Serat *Polypropylene* Terhadap Nilai Kehilangan Berat

Pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai *cantabro loss* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar serat PP. Hal ini disebabkan karena pengaruh serat PP yang meleleh pada saat pencampuran dan pemadatan yang mengakibatkan serat tersebut dapat lebih mengikat agregat sehingga dapat mengurangi kehilangan berat pada saat pengujian. Nilai *cantabro loss* pada kadar serat PP 0%, 0,4%, 0,8%, 1,2% dan 1,6% berturut-turut adalah 20,441%, 9,992%, 7,669%, 8,861% dan 6,171% sehingga semua campuran yang menggunakan serat PP memenuhi syarat Bina Marga 2010 yaitu $\leq 20\%$.

5.6 Signifikansi Penambahan Serat *Polypropylene* (PP) terhadap Kinerja Campuran HRS-WC

Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Indirect Tensile Strength* dan ketahanan aus dengan penggunaan bahan tambah serat *Polypropylene* terhadap karakteristik campuran HRS-WC kemudian dianalisis menggunakan analisis statistik ANOVA satu arah dan *T-Test*. Kemudian dapat ditarik kesimpulan apakah serat *Polypropylene* berpengaruh signifikan terhadap campuran HRS-WC.

5.6.1 Signifikansi dengan ANOVA Satu Arah

1. Hasil Analisis

Hasil rekapitulasi analisis menggunakan ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Analisis Statistik Anova Satu Arah

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas	Tidak Signifikan	H_0 diterima & H_1 ditolak
<i>Flow</i>	Tidak Signifikan	H_0 diterima & H_1 ditolak
<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H_0 diterima & H_1 ditolak
<i>VITM</i>	Signifikan	H_0 ditolak & H_1 diterima
<i>ITS</i>	Signifikan	H_0 ditolak & H_1 diterima
<i>Cantabro</i>	Signifikan	H_0 ditolak & H_1 diterima

2. Pembahasan

a. Stabilitas

Hasil signifikansi stabilitas dengan menggunakan ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil ANOVA Satu Arah Terhadap Nilai Stabilitas

Data	Hasil
M_{total}	1676,72
X_{total}	41917,98
JK_{total}	4276946,8
JK_{antara}	743945,6
JK_{dalam}	3533001,21
MK_{antara}	185986,4
MK_{dalam}	176650,06
F_{hitung}	1,053
F_{tabel}	2,87

Nilai signifikansi analisis statistik dengan *ANOVA* sebesar 1,053 dan dibandingkan dengan nilai F_{tabel} yaitu sebesar 2,87. Hasil signifikansi didapatkan nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai stabilitas pada campuran *HRS-WC*.

b. Flow

Hasil signifikansi *flow* dengan menggunakan *ANOVA* satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil *ANOVA* Satu Arah Terhadap Nilai *Flow*

Data	Hasil
M_{total}	4,29
X_{total}	107,37
JK_{total}	9,806
JK_{antara}	1,808
JK_{dalam}	7,998
MK_{antara}	0,452
MK_{dalam}	0,400
F_{hitung}	1,130
F_{tabel}	2,87

Nilai signifikansi analisis statistik dengan *ANOVA* sebesar 1,130 dan dibandingkan dengan nilai F_{tabel} yaitu sebesar 2,87. Hasil signifikansi didapatkan nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *flow* pada campuran *HRS-WC*.

c. Marshall Quotient (MQ)

Hasil signifikansi *Marshall Quotient (MQ)* dengan menggunakan *ANOVA* satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil ANOVA Satu Arah Terhadap Nilai *MQ*

Data	Hasil
M_{total}	405,66
X_{total}	10141,39
JK_{total}	576570,45
JK_{antara}	160652,6
JK_{dalam}	415917,868
MK_{antara}	40163,14
MK_{dalam}	20795,893
F_{hitung}	1,931
F_{tabel}	2,87

Nilai signifikansi analisis statistik dengan ANOVA sebesar 1,931 dan dibandingkan dengan nilai F_{tabel} yaitu sebesar 2,87. Hasil signifikansi didapatkan nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *Marshall Quotient (MQ)* pada campuran *HRS-WC*.

d. *Void In Total Mix (VITM)*

Hasil signifikansi *Void In Total Mix (VITM)* dengan menggunakan ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil ANOVA Satu Arah Terhadap Nilai *VITM*

Data	Hasil
M_{total}	5,14
X_{total}	128,56
JK_{total}	19,623
JK_{antara}	11,660
JK_{dalam}	7,963
MK_{antara}	2,915

Lanjutan Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil ANOVA Satu Arah Terhadap Nilai VITM

Data	Hasil
MK _{dalam}	0,398
F _{hitung}	7,322
F _{tabel}	2,87

Nilai signifikansi analisis statistik dengan ANOVA sebesar 7,322 dan dibandingkan dengan nilai F_{tabel} yaitu sebesar 2,87. Hasil signifikansi didapatkan nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat PP memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai Void In Total Mix (VITM) pada campuran HRS-WC.

e. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Hasil signifikansi *Indirect Tensile Strength (ITS)* dengan menggunakan ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil ANOVA Satu Arah Terhadap Nilai ITS

Data	Hasil
M _{total}	28,63
X _{total}	715,79
JK _{total}	511,718
JK _{antara}	195,381
JK _{dalam}	316,337
MK _{antara}	48,845
MK _{dalam}	15,817
F _{hitung}	3,088
F _{tabel}	2,87

Nilai signifikansi analisis statistik dengan ANOVA sebesar 3,088 dan dibandingkan dengan nilai F_{tabel} yaitu sebesar 2,87. Hasil signifikansi didapatkan nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} sehingga dapat ditarik

kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada campuran *HRS-WC*.

f. *Cantabro Loss*

Hasil signifikansi *Cantabro Loss* dengan menggunakan *ANOVA* satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil ANOVA Satu Arah Terhadap Nilai *Cantabro Loss*

Data	Hasil
M_{total}	10,63
X_{total}	265,66
JK_{total}	794,624
JK_{antara}	642,212
JK_{dalam}	152,412
MK_{antara}	160,553
MK_{dalam}	7,621
F_{hitung}	21,068
F_{tabel}	2,87

Nilai signifikansi analisis statistik dengan *ANOVA* sebesar 21,068 dan dibandingkan dengan nilai F_{tabel} yaitu sebesar 2,87. Hasil signifikansi didapatkan nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *Cantabro Loss* pada campuran *HRS-WC*.

5.6.2 Signifikansi dengan *T-test*

Uji signifikansi *T-test* dilakukan dengan membandingkan antara nilai probabilitas (*P-value*) dan nilai $\alpha = 0,05$. Berikut pembahasan uji signifikansi dengan *T-test*.

1. Stabilitas

Uji signifikansi stabilitas dengan menggunakan *T-test* dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Uji Signifikansi dengan *T-test* untuk Stabilitas

Kadar Serat PP (%)	0	0,40	0,80	1,20	1,60
0	-	0,6256	0,5438	0,3492	0,3192
0,40	-	-	0,1901	0,0963	0,1150
0,80	-	-	-	0,7349	0,8781
1,20	-	-	-	-	0,9469
1,60	-	-	-	-	-

Pada Tabel 5.16 dapat dilihat bahwa *P-value* untuk seluruh kombinasi variasi serat *PP* lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai stabilitas pada campuran *HRS-WC*.

2. *Flow*

Hasil signifikansi *flow* dengan menggunakan *T-test* dapat dilihat pada Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Uji Signifikansi dengan *T-test* untuk *Flow*

Kadar Serat PP (%)	0	0,40	0,80	1,20	1,60%
0	-	0,7403	0,3438	0,2341	0,0547
0,40	-	-	0,4654	0,3555	0,2563
0,80	-	-	-	0,8655	0,5289
1,20	-	-	-	-	0,4349
1,60	-	-	-	-	-

Pada Tabel 5.17 dapat dilihat bahwa *P-value* untuk seluruh kombinasi variasi serat *PP* lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *flow* pada campuran *HRS-WC*.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Hasil signifikansi *Marshall Quotient (MQ)* dengan menggunakan *T-test* dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Uji Signifikansi dengan *T-test* untuk *MQ*

Kadar Serat PP (%)	0%	0,40	0,80	1,20	1,60
0	-	0,5126	0,2745	0,3132	0,1585
0,40	-	-	0,2225	0,1751	0,0644
0,80	-	-	-	0,7617	0,6904
1,20	-	-	-	-	0,7947
1,60	-	-	-	-	-

Pada Tabel 5.18 dapat dilihat bahwa *P-value* untuk seluruh kombinasi variasi serat *PP* lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *MQ* pada campuran *HRS-WC*.

4. *Void In Total Mix (VITM)*

Hasil signifikansi *Void In Total Mix (VITM)* dengan menggunakan *T-test* dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Uji Signifikansi dengan *T-test* untuk *VITM*

Kadar Serat PP (%)	0%	0,40	0,80	1,20	1,60
0	-	0,5119	0,0073	0,0292	0,0231
0,40	-	-	0,0367	0,1059	0,0490
0,80	-	-	-	0,5377	0,1226
1,20	-	-	-	-	0,0990
1,60	-	-	-	-	-

Pada Tabel 5.19 dapat dilihat bahwa *P-value* untuk variasi serat *PP* 0,8%, 1,2% dan 1,6% lebih kecil dari nilai $\alpha = 0,05$ jika dibandingkan dengan campuran tanpa serat *PP*, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan serat *PP* dengan kadar 0,8%, 1,2% dan 1,6% memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *VITM* pada campuran *HRS-WC*.

5. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Hasil signifikansi *Indirect Tensile Strength (ITS)* dengan menggunakan *T-test* dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Uji Signifikansi dengan *T-test* untuk *ITS*

Kadar Serat PP (%)	0	0,40	0,80	1,20	1,60
0	-	0,1741	0,2723	0,2518	0,0256
0,40	-	-	0,9918	0,5639	0,2419
0,80	-	-	-	0,5152	0,1920
1,20	-	-	-	-	0,6524
1,60	-	-	-	-	-

Pada Tabel 5.20 dapat dilihat bahwa pada *P-value* untuk variasi kadar serat *PP* 1,6% lebih kecil dari nilai $\alpha=0,05$ jika dibandingkan dengan campuran tanpa serat *PP*, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa pada penambahan serat *PP* 1,6% memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *ITS* pada campuran *HRS-WC*.

6. *Cantabro Loss*

Hasil signifikansi *Cantabro Loss* dengan menggunakan *T-test* dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Uji Signifikansi dengan *T-test* untuk *Cantabro Loss*

Kadar Serat PP (%)	0	0,40	0,80	1,20	1,60
0	-	0,0013	0,0013	0,0053	0,0012
0,40	-	-	0,3383	0,5671	0,0703
0,80	-	-	-	0,4526	0,3422
1,20	-	-	-	-	0,1765
1,60	-	-	-	-	-

Pada Tabel 5.21 dapat dilihat bahwa pada *P-value* untuk variasi antara serat *PP* 0% dan serat *PP* 0,4%, 0,8%, 1,2% dan 1,6% lebih kecil dari nilai $\alpha=0,05$ sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi dapat ditarik kesimpulan

bahwa dengan adanya penambahan serat *PP* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *Cantabro Loss* pada campuran *HRS-WC* jika dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan serat *PP*.