



Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)

Alamat Prosiding: snip.eng.unila.ac.id



Pengaruh Penambahan *Poli Vinil Chlorida* Pada Campuran Beton Aspal Sebagai *Filler*

Mira Wisman^a, Rina Febrina^b, Ika Kustiani^c, Dikpride Despa^d

^a Program Studi Teknik Sipil, Universitas Malahayati, Lampung – Indonesia 35153

^b Program Studi Teknik Sipil, Universitas Malahayati, Lampung – Indonesia 35153

^{c,d} Program Studi Program Profesi Insinyur Universitas Lampung

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:
Diterima 17 Juli 2021

Kata kunci:
Filler
Poli Vinil Chlorida (PVC)
Perkerasan Lentur

Provinsi Lampung merupakan salah satu provinsi yang ada di Sumatera yang secara geografis berada di Selatan Pulau Sumatera. Provinsi Lampung merupakan provinsi yang strategis karena merupakan pintu gerbang lintas kawasan ekonomi. Untuk itu peningkatan infrastruktur, semakin banyak inovasi-inovasi yang dilakukan oleh para penelitian di Provinsi Lampung terus dilakukan salah satunya dibidang perkerasan jalan. Dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat dalam beberapa dekade terakhir berbanding lurus dengan peningkatan jumlah konsumsi berbagai sumber daya alam. Salah satunya adalah polimer atau *Filler Poli Vinil Chlorida (PVC)*. *Filler PVC* telah menjadi salah satu kebutuhan dalam kehidupan kita. Jumlah penggunaan *plastic* ini meningkat sebesar 24,50% selama kurun waktu 4 tahun *Plastics Europe.com* mencatat konsumsi *Filler PVC* di dunia pada tahun 2010 mencapai angka 562,2 miliar pon atau setara dengan 255 miliar kilogram. Biasanya limbah *filler PVC* itu terbuang percuma atau didaur ulang untuk dibuat berbagai kerajinan. Disini penulis akan melakukan penelitian perkerasan aspal beton dengan memanfaatkan bahan limbah PVC sebagai bahan pengganti sebagian *filler* pada campuran beraspal tersebut. Berdasarkan penelitian, karakteristik dari perkerasan yang menggunakan *filler PVC* cukup baik bila digunakan sebagai *alternative* bahan tambah pada perkerasan lentur. Karena berdasarkan pengujian *Marshall* nilai stabilitas dengan menggunakan variasi persentase *Filler PVC* sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC - WC cukup memenuhi nilai stabilitas yang disyaratkan diatas 800 Kg dan memiliki nilai *flow* yang disyaratkan yaitu antara 2 mm – 4 mm. Sedangkan nilai rongga dalam campuran (VIM) hanya variasi 10 % tambahan *filler* yang memenuhi dengan nilai 3% – 5%. Untuk nilai rongga dalam agregat (VMA) semua variasi *filler* dalam campuran AC - WC memenuhi yaitu diatas 15. Dan nilai VFA dengan menggunakan *filler PVC* memenuhi kriteria yang disyaratkan PU Bina Marga 2018 yaitu 65%. Jadi berdasarkan hasil penelitian, perkerasan menggunakan tambahan variasi 10 % *filler PVC* pada AC - WC dapat meningkatkan karakteristik suatu campuran beraspal AC - WC.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pulau Sumatera adalah salah satu Pulau terbesar di Indonesia. Masa depan Indonesia akan bertumpu di Pulau ini, maka dari itu perlu adanya peningkatan infrastruktur di Pulau Sumatera. Pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat dalam beberapa dekade terakhir berbanding lurus dengan peningkatan jumlah konsumsi berbagai sumber daya alam. Salah satunya adalah polimer atau *Filler Poli Vinil Chlorida* (PVC). *Filler* PVC telah menjadi salah satu kebutuhan dalam kehidupan kita. Suroso (2004) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa untuk menaikkan mutu campuran beraspal, salah satunya adalah dengan menambahkan *Filler* PVC yang dalam istilah kimianya disebut polimer. Perencanaan tebal suatu struktur perkerasan jalan merupakan salah satu bagian dari rekayasa jalan yang bertujuan memberikan pelayanan terhadap arus lalu lintas sehingga memberikan rasa aman dan nyaman terhadap pengguna jalan. Kesesuaian dan ketetapan dalam menentukan parameter pendukung dan metode perencanaan tebal perkerasan yang digunakan, sangat mempengaruhi efektifitas dan efisiensi penggunaan biaya konstruksi dan pemeliharaan jalan. Berdasarkan bahan pengikat yang digunakan untuk membentuk lapisan atas, perkerasan jalan dibedakan menjadi : perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Perbedaan antara tipe perkerasan jalan tersebut adalah dalam hal pendistribusian beban yang dilimpahkan. Pada perkerasan kaku beban secara keseluruhan dilimpahkan kepada pelat beton dengan bidang yang luas, sedangkan pada perkerasan lentur yang memiliki kekakuan yang lebih rendah sehingga beban yang dilimpahkan akan didistribusikan kesetiap lapisan yang menyusun perkerasan. Struktur perkerasan lentur merupakan suatu kesatuan sistem yang sangat kompleks yang terdiri dari beberapa lapisan (*layer*) dimana setiap lapisan memiliki sifat bahan (*properties*) yang berbeda. Dalam meningkatkan kinerja aset jalan Indonesia agar dapat menghadapi empat tantangan yaitu beban berlebih, temperatur perkerasan yang tinggi, curah hujan yang tinggi, dan tanah lunak serta tantangan ke-lima yaitu mutu konstruksi harus di tingkatkan dengan meningkatkan profesionalisme industri konstruksi jalan, kepraktisan konstruksi untuk kondisi beban dan iklim Indonesia. Sangat penting untuk menguasai elemen kunci tertentu dalam manual desain perkerasan seperti umur rencana, beban, iklim, tanah dasar lunak dan batas konstruksi yang diuraikan dalam manual ini. Perubahan yang dilakukan dalam desain awal menggunakan manual 2013 ini harus dilakukan dengan benar serta memberikan biaya siklus umur (*life cycle cost*) terendah.

a. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam memenuhi kelancaran pergerakan lalu lintas. Perkerasan jalan yang digunakan pada saat sekarang ini umumnya terdiri atas tiga jenis, yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan komposit.

b. Aspal

Aspal adalah material semen hitam, padat atau setengah padat dalam konsistensinya di mana unsur pokok yang menonjol adalah bitumen yang terjadi secara alam atau yang dihasilkan dengan penyulingan minyak (*Petroleum*). Aspal *Petroleum* dan aspal *liquid* adalah material yang sangat penting. Aspal adalah sistem koloida yang rumit dari material *hydrocarbon* yang terbuat dari *Asphaltenes*, *resin* dan *oil*. Pengelompokan atau klasifikasi aspal dapat dilakukan berdasarkan penetrasi pada temperatur 25° ataupun berdasarkan nilai *viskositas* (kekentalan).

c. Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan (Departemen Pekerjaan Umum - Direktorat Jendral Bina Marga. 1998). Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran-butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi, dan lain-lain (Harold N. Atkins, PE. 1997).

d. Perencanaan Gradasi Campuran

Selanjutnya dapat dilakukan pemilihan gradasi agregat campuran. Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran aspal panas AC untuk lapisan *wearing course* dengan spesifikasi gradasi menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2004.

e. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi agregat.

f. Parameter dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

- Berat Jenis Bulk dan *Apparent Total Agregat*
Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtotAgregat} = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots(1)$$

- Berat Jenis Efektif Agregat
Berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (Gse), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_B}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_B}{G_b}} \dots\dots(2)$$

- Berat Jenis Maksimum Campuran
Berat Jenis Maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Pse}{Gse} - \frac{Pb}{Gb}} \dots \dots \dots (3)$$

- Berat Jenis Bulk Campuran Padat
Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$Gmb = \frac{Wa}{V_{bulk}} \dots \dots \dots (4)$$

- Penyerapan Aspal
Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

$$Pba = 100 \frac{Gse - Gsb}{GsexGsb} Gb \dots \dots \dots (5)$$

- Kadar Aspal Efektif
Kadar aspal efektif (Pbe) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} Ps \dots \dots \dots (6)$$

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya adalah mengevaluasi aspal konvensional dengan campuran perkerasan yang menggunakan *Filler Poli Vinil Chloride* (PVC) sebagai *filler*, serta mengevaluasi kinerja campuran lataston AC - WC dengan aspal modifikasi *Filler Poli Vinil Chloride* (PVC).

2. Metodologi

Metode yang dilakukan meliputi aspek kuantitatif (Hasan, 2022) (Purma, 2022) (Kurniawan, 2014) dan kualitatif (Saputra, 2016) (Utomo, 2014) (Romana, 2021) (Ananda, 2022)

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, metode eksperimen, dan Teknik *Research and Development* (R&D). Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, mulai dari persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian benda uji sampai dengan pengujian *Marshall Test*.

2.2 Metode Pengumpulan Data

2.2.1. Tahapan Perencanaan Penelitian

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah mengklasifikasi data. Pengklasifikasian data ini dilakukan dengan tujuan memudahkan dalam pengolahan data nantinya. Seperti yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, variabel bebas yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah *Poli Vinil Chloride* (PVC) dan aspal normal dengan persentase percampuran 10%, 30%, dan 50%. Sedangkan, variabel terikat yang digunakan berupa faktor perhitungan *Marshall* dan Penentuan KAO. Limbah *Filler Poli Vinil Chloride* (PVC) yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai pengganti sebagian agregat halus yang digunakan. Pengujian aspal dan agregat yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pedoman dari *Marshall*.

Tahapan penelitian mengikuti langkah sebagai berikut:

- Tahapan persiapan
Persiapan bahan meliputi kegiatan pengadaan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain agregat kasar, aspal dan *Filler Poli Vinil Chloride* (PVC) sebagai agregat halus, serta benda uji *Marshall* harus dalam kondisi bersih, baik dan terkalibrasi.
- Pengujian bahan
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar aspal dan *Filler Poli Vinil Chloride* (PVC) sebagai agregat halus yang terlebih dahulu dilakukan pengujian sesuai dengan metode pengujian yang digunakan. Adapun untuk pengujian *Filler Poli Vinil Chloride* (PVC) sebagai agregat halus, meliputi berat jenis dan titik leleh.
- Perencanaan campuran
Kadar *Poli Vinil Chloride* (PVC) yang direncanakan sebesar 10%, 30%, dan 50% dari kadar aspal yang digunakan. Kemudian *Poli Vinil Chloride* (PVC) yang sudah ditimbang dilelehkan dalam wadah yang berbeda dengan wadah aspal. Setelah *Poli Vinil Chloride* (PVC) meleleh, kemudian dicampurkan kedalam aspal yang sedang dipanaskan dan diaduk sampai *Poli Vinil Chloride* (PVC) dan aspal tercampur merata.
- Pembuatan benda uji
Pada tahapan ini, *Filler* ditimbang sesuai dengan perencanaan gradasi setiap nomor saringan atau fraksinya. Misalnya jumlah *filler* yang tertahan saringan No. 200 sebanyak 210% dari total berat agregat (1200 gram) atau sebanyak 300 gram. Setelah dilakukan penimbangan, lalu agregat dipanaskan hingga suhu 160°C, lalu dicampur dengan aspal yang telah ditambahkan *Poli Vinil Chloride* (PVC) sesuai kadar yang direncanakan, yakni 10%, 30%, dan 50% dari total berat aspal. Kemudian campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan untuk ditumbuk sebanyak 2×75 kali. Benda uji dibuat sebanyak dua (2) buah untuk setiap kadar *Poli Vinil Chloride* (PVC) yang digunakan.

- Pengujian benda uji
Pengujian benda uji dengan menggunakan Alat Uji *Marshall*. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *provingring* yang digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan *flow* meter yang

digunakan untuk mengukur kelelahan (*flow*). Setelah didapatkan kadar aspal optimum maka dilakukan pembuatan benda uji dengan variasi komposisi *filler* yaitu 10%, 30%, dan 50% bubuk *Poli Vinil Chloride* (PVC) pada durasi perendaman 1/2, 24 dan 48 jam. Kemudian dilakukan uji *marshall* dengan kondisi standar (2x75 tumbukan) dan dengan kondisi rufusal (2x400 tumbukan) untuk menentukan VIM, VMA, VFA, kepadatan, stabilitas, kelelahan dan hasil bagi *Marshall*. Seluruh kriteria hasil *Marshall* yang didapatkan mengacu pada standar Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah 2003.

Pengujian Marshall

- Dilakukan penimbangan agregat sesuai dengan presentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat campurankira-kira 1200 gram untuk diameter 4 inchi, kemudian dilakukan pengeringan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap sampai suhu (105±5)°C.
- Dilakukan pemanasan aspal untuk pencampuran pada *viskositas* kinematik 100 ± 10 *centistokes*. Agar temperatur campuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan di atas pemanas dan diaduk hingga rata.
- Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada *viskositas* kinematik 100 ±10 *centistokes*, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dipanasi pada temperatur 100 hingga 170° dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas *filter* atau kertas lilin (*waxed paper*) yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali di bagian tepi dan 10 kali di bagian tengah.
- Pemadatan standar dilakukan dengan pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali di bagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali.
- Pemadatan lanjutan untuk kepentingan kepadatan membal (*refusal*) dilaksanakan seperti cara pemadatan standar hanya tumbukannya dilakukan sebanyak 2 x 400 tumbukan.
- Setelah proses pemadatan selesai benda uji dibiarkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
- Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya di udara.
- Benda uji direndam dalam air selama 10-24 jam supaya jenuh.
- Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
- Benda uji dikeluarkan dari bak dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry,SSD*) kemudian ditimbang.
- Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu 60±1°C selama 30 hingga 40 menit. Untuk uji

Pengujian Material Agregat

Metode pengujian mengacu pada Norma Standar Prosedur Manual (NSPM) yang berlaku di Indonesia. NSPM ini

perendaman mendapatkan stabilitas sisa pada suhu 60±1°C selama 24 jam.

- Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, lalu diletakkan tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian bagian atas kepala diletakkan dengan memasukkan lewat batang penuntun. Setelah pemasangan sudah lengkap maka diletakkan tepat di tengah alat pembebanan. Kemudian arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada dudukan di atas salah satu batang penuntun.
- Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
- Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibuka arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*.
- Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 60 detik.
- Untuk pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70.
- Campuran agregat aspal standar dimasukkan ke dalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 2x75 kali pada temperatur ±160°C.
- Selanjutnya campuran agregat dengan aspal dicampur pada suhu ±160°C, sedangkan suhu pemadatan ditetapkan pada suhu 140°C.
- Campuran agregat - aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukkan ke dalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 2x400 kali pada suhu ±160°C dan suhu pemadatan ±140°C.
- Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didinginkan selama ± 4 jam dan kemudian dilakukan tes *Marshall*.

Tabel 1. Ketentuan Aspal

No	Karakteristik	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi; 25°C; 100gr.; 5detik; 0,1mm	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2.	Titik lembek; °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58
3.	Titik nyala; °C	SNI 06-2433-1991	min. 200
4.	Daktilitas; 25°C; cm	SNI 06-2432-1991	min. 100
5.	Berat jenis; gr/cc	SNI 06-2441-1991	min. 1.0
6.	Kelarutan dlm. Tricilor Etylen; %berat	SNI 06-2438-1991	min. 99
7.	Penurunan Berat (dg. TFOT); %berat	SNI 06-2440-1991	min. 0.8
8.	Penetrasi setelah penurunan berat; %asli	SNI 06-2456-1991	min. 54
9.	Daktilitas setelah penurunan berat; %asli	SNI 06-2432-1991	min. 50

diperlukan sebagai acuan dalam menjamin mutu konstruksi. Selain memberikan panduan, NSPM memberikan kemudahan bagi para pihak-pihak yang berkepentingan dalam bidang pekerjaan konstruksi untuk melaksanakan

kegiatan prasarana dan sarana guna mempertahankan mutu pekerjaan

Tabel 2. Ketentuan Agregat Halus

No	Karakteristik	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Berat jenis dan penyerapan air	AASHTO T-85 - 81	
2.	Berat Jenis SSD	AASHTO T-85 - 81	
3.	Berat Jenis Apparent	AASHTO T-85 - 81	
4.	Penyerapan Air	SNI 1969-1989 - F	maks. 10%
5.	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	maks. 50%
6.	Material lolos saringan no.200	SNI 03-4428-1997	maks. 8%

Tabel 3. Ketentuan Agregat Kasar

No	Karakteristik	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Berat jenis dan penyerapan air	AASHTO T-85 - 81	
2.	Berat Jenis SSD	AASHTO T-85 - 81	
3.	Berat Jenis Apparent	AASHTO T-85 - 81	
4.	Penyerapan Air	SNI 1969-1989 - F	maks. 10%
5.	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	maks. 40%
6.	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	maks. 910%
7.	Indeks kepipihan	ASTM D-4791	maks. 210%
8.	Indeks kelonjongan	ASTM D-4791	maks. 10%
9.	Material lolos saringan no.200	SNI 03-4142-1996	maks. 10%

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian

- Hasil Perencanaan Gradasi Agregat Campuran Presentase lolos masing-masing saringan ketiga *filler* itu mempunyai nilai yang berbeda. Tetapi hasil akhir pada proses perhitungan mempunyai hasil proporsi fraksi agregat yang sama. Hal tersebut dikarenakan pembulatan angka pada prosentase lolos saringan masing-masing agregat campuran. Disamping itu pada nilai masing-masing prosentase lolos saringan masih kami butuhkan dalam target rencana campuran untuk memudahkan dalam proses penimbangan yang mana alat penimbangan tersebut hanya mempunyai angka ketelitian 0,1 gram saja. *Filler* yang direncanakan yaitu PVC 10%, 30%, dan 50% dengan prosentase lolos saringan yang berbeda. Terjadi kecenderungan makin besar nilai presentase lolos saringan yang terkecil pada *filler* yang makin besar presentase kadar PVC nya.
- Hasil Analisa *Marshall* Pada Kadar Aspal Rencana Proses pengujian *Marshall* dapat dilakukan setelah seluruh persyaratan material, berat jenis, penyerapan aspal dan perkiraan kadar aspal rencana telah terpenuhi. Diperlukan juga tabel angka koreksi dan kalibrasi pada alat uji tekan *Marshall* dalam perhitungan stabilitas *marshall* setelah disesuaikan dari lbf menjadi kilogram. Kepadatan *Marshall* pada campuran yang didapatkan dari hasil pembagian antara stabilitas dengan kelelahan (*Flow*). Kepadatan maksimum terjadi pada kadar aspal 6,4% terhadap campuran dan tidak ada perbedaan yang berarti pada masing-masing kadar *filler* terhadap campuran.

• Hasil Pengujian Kualitas Material

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Agregat Halus (Abu Batu)

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
Gradasi	SNI 03 - 4142 - 1996	Tabel 4.3.1	-	-	%
Berat Jenis dan Penyerapan					
1. Bulk	SNI 1969 : 2008	2.567	-	3	%
2. SSD		2.586			
3. Apparent		2,69			
4. Penyerapan		1,53			
<i>Sand Equivalent</i>	AASHTO T-176	77.63	50	-	%

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
Gradasi	SNI 03 - 4142 - 1996	Tabel 4.2.3	-	-	%
Angularitas		93,19			
Abrasi dengan Mesin Los Angelas	SNI 2417 : 2008	19,10	-	30	%
Berat Jenis dan Penyerapan					
1. Bulk	SNI 1969 : 2008	2.567	-	3	%
2. SSD		2.586			
3. Apparent		2,69			
4. Penyerapan		1,53			

Tabel 5. Hasil Pengujian Aspal

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi		Keterangan
			Min	Max	
Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06 - 2456 - 1991	68,4°C	60-	70	Memenuhi
Titik Lembek °C	SNI 06 - 2456 - 1991	51 °C	48	58	Memenuhi
Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 06 - 2456 - 1991	343 & 353°C	200	-	Memenuhi
Berat Jenis	SNI 06 - 2456 - 1991	1,06321244	1,0	-	Memenuhi
Daktilitas, 25°C	SNI 06 - 2456 - 1991	>110 cm	100	-	Memenuhi
Kelarutan dalam CCL	ASTM D 5546 Pengujian setelah TFOT	99,58.	99	-	Memenuhi
Kehilangan Berat	SNI 06 - 2456 - 1991	0,162	-	0,8	Memenuhi
Daktilitas, 25°C setelah penurunan berat	SNI 06 - 2456 - 1991	>110 cm	50	-	Memenuhi
Penetrasi Pada Suhu 25° setelah penurunan berat	SNI 06 - 2456 - 1991	62,7	54	-	Memenuhi

Tabel 6. Hasil Pengujian *Filler*

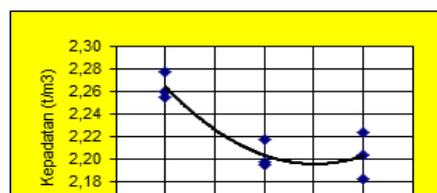
Jenis <i>Filler</i>	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Spesifikasi
I.Abu Batu	1. Lolos saringan no.200	SNI M-02-1994-03	88,8%	min. 70%
	2. Berat Jenis	AASHTO T-85 - 81	2,635gr/cc	-
II.Abu Batu + PVC	1. Lolos saringan no.200	SNI M-02-1994-03	94,30%	min. 70%
	2. Berat Jenis	AASHTO T-85 - 81	2,676gr/cc	-
III.PVC	1. Lolos saringan no.200	SNI M-02-1994-03	99,6%	min. 70%
	2. Berat Jenis	AASHTO T-85 - 81	3,15r/cc	-

3.2 Pembahasan

- Hubungan kadar *Filler* PVC dan Kepadatan.

<i>Filler</i> PVC 10%,	<i>Filler</i> PVC 30%	<i>Filler</i> PVC 50%
2260	2197	2181
2254	2217	2223
2277	2195	2203
2264	2203	2202

Gambar 1. Hasil Pengukuran Stabilitas masing - masing campuran *Filler* PVC



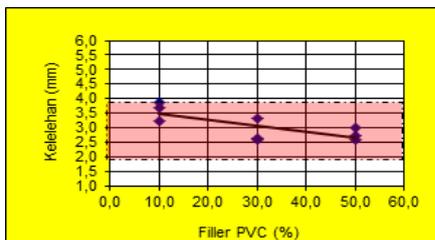
Gambar 2. Hubungan antara kadar *Filler* PVC dengan nilai Kepadatan

Analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Metode *Marshall* dikembangkan untuk rancangan campuran aspal beton. Sebelum membuat briket campuran aspal beton maka perkiraan kadar aspal optimum dicari dengan menggunakan rumus pendekatan. Setelah menentukan proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia, selanjutnya menentukan kadar aspal total dalam campuran. Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat. Setelah diketahui estimasi kadar aspalnya maka dapat dibuat benda uji. Pada percobaan dengan menggunakan *Filler* PVC kepadatan dengan nilai tertinggi ada pada campuran *Filler* PVC 10% hal ini membuktikan bahwa *Filler* PVC tidak dapat terserap secara maksimal kedalam pori masing – masing butir agregat.

- Hubungan Kadar *Filler* PVC dengan *Flow*

<i>Filler</i> PVC 10%,	<i>Filler</i> PVC 30%	<i>Filler</i> PVC 50%
3,2 kg	2,6 kg	2,7 kg
3,9 kg	3,3 kg	3,0 kg
3,7 kg	2,6 kg	2,6 kg
10,7	8,5 kg	8,26 kg

Gambar 3. Hasil Pengukuran *Flow* masing – masing campuran *Filler* PVC



Gambar 4. Hubungan antara kadar *Filler* PVC dengan *Flow*

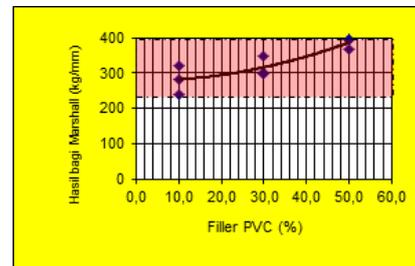
Dari diagram diatas menunjukkan bahwa nilai tertinggi *flow* dengan menggunakan persentase *Filler* PVC sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC - WC berada pada kadar persentase 10% dari hasil pengujian yang dilakukan. Nilai *flow* terendah dapat dilihat pada kadar *Filler* PVC 50%. Kelelahan (*flow*) adalah deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Besarnya nilai *flow* dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi

agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Hubungan antara ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastisitas (*flow*) adalah berbanding lurus, semakin besar stabilitas, semakin besar pula *flow* nya, dan begitu juga sebaliknya. Jadi semakin besar stabilitasnya maka aspal akan semakin mampu menahan beban, demikian juga sebaliknya. Dan jika *flow* semakin tinggi maka aspal semakin mampu menahan beban. Penambahan *Filler* PVC pada campuran aspal mempengaruhi nilai *flow*. Namun masih pada ambang normal. Dimana batas Kelelahan : 2mm – 4mm. Hal ini dapat dilihat pada campuran campuran kadar aspal 3,5% (*Filler* PVC 10%) dengan nilai 10,7 mm dan mengalami penurunan *flow* apabila ditambah dengan *Filler* PVC 50%, meskipun hasilnya mengalami penurunan, tetapi nilainya tidak melewati nilai *flow* pada campuran aspal murni (*Filler* PVC 0%). Hal ini disebabkan karena penambahan kadar aspal akan membuat *flow* menjadi meningkat, sedangkan pada penelitian ini, apabila dilakukan penambahan *Filler* PVC maka nilai kadar aspalnya akan berkurang karena berpatokan pada kadar aspal efektif.

- Hubungan kadar *Filler* PVC dan *Marshall Quotient* (MQ)

<i>Filler</i> PVC 10%,	<i>Filler</i> PVC 30%	<i>Filler</i> PVC 50%
323	298	396
241	302	366
281	350	396
282	316	386

Gambar 5. Hasil Pengukuran *marshall quotient* (MQ) masing – masing campuran *Filler* PVC



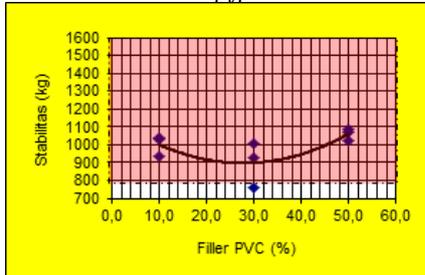
Gambar 6. Hubungan antara kadar *Filler* PVC dengan Nilai MQ

Dari diagram diatas menunjukkan bahwa nilai *Marshall Quotient* menggunakan persentase *Filler* PVC sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC - WC mengalami kenaikan dari hasil pengujian yang dilakukan. Karena penambahan *Filler* PVC dari persentase 10%, 30% dan 50% memenuhi syarat spesifikasi yaitu minimum 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil. Penambahan *Filler* PVC pada campuran aspal mempengaruhi nilai *Marshall Quotient*. Hal ini dapat dilihat pada campuran kadar aspal mengalami kenaikan apabila ditambah dengan *Filler* PVC, pada kadar aspal 6,21 % (palstik 10%), 6,18% (*Filler* PVC 30%) dan kadar aspal 6,06% (*Filler* PVC 50%) mengalami peningkatan yang lebih tinggi dari nilai campuran aspal murni (*Filler* PVC 0%).

- Hubungan kadar *Filler* PVC dan stabilitas.

Filler PVC 10%,	Filler PVC 30%	Filler PVC 50%
1035,8 kg	763,1 kg	1070 kg
931,2 kg	1005,8 kg	1089 kg
1032,8 kg	925,3 kg	1025 kg
2999,8 kg	2694,2 kg	3184 kg

Gambar 7. Hasil Pengukuran Stabilitas masing – masing campuran Filler PVC



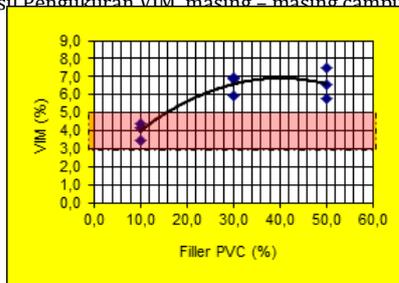
Gambar 8. Hubungan antara kadar Filler PVC dengan nilai stabilitas

Dari diagram di atas menunjukkan bahwa nilai stabilitas dengan menggunakan persentase Filler PVC sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC-WC mengalami kenaikan dan penurunan dari stabilitas tanpa menggunakan bahan tambah. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar Filler PVC 50% dan terendah dapat dilihat pada kadar 30%. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu-lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun mengalami *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi atau penetrasi aspal, kadar aspal, gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*interlocking*) dari partikel-partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan, serta gradasi agregat. Gaya-gaya tersebut dipengaruhi oleh kekerasan permukaan batuan, ukuran gradasi, bentuk butiran, kadar aspal, dan tingkat kepadatan campuran. Dari hasil penelitian dengan menggunakan Filler PVC terbukti gaya penguncian (*interlocking*), dan gaya adhesi yang baik antara batuan dan aspal meningkat hal ini dibuktikan dengan meningkatnya nilai stabilitas pada percampuran Filler PVC 50%.

- Hubungan kadar Filler PVC dengan void in mix (VIM)

Filler PVC 10%,	Filler PVC 30%	Filler PVC 50%
4.2 %	6.8 %	7.5 %
4.4 %	6.0 %	5.7 %
3.4 %	6.9 %	6.6 %

Gambar 9. Hasil Pengukuran VIM masing – masing campuran Filler PVC



Gambar 10. Hubungan antara kadar Filler PVC dengan Nilai VIM

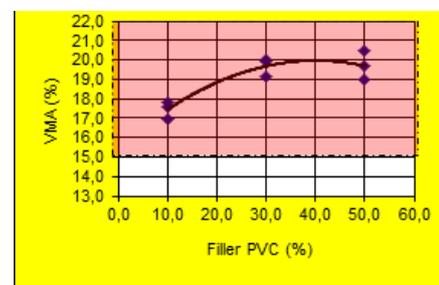
Dari diagram diatas menunjukkan bahwa nilai VIM campuran AC-WC dengan persentase Filler PVC mengalami kenaikan

signifikan terhadap nilai VIM bahkan melebihi ambang yang ditentukan. Kenaikan dimulai pada saat penambahan kadar Filler PVC 10%, 30% dan 50%, Nilai VIM tertinggi dapat dilihat pada kadar aspal murni (Filler PVC 50%) dan nilai VIM terendah dapat dilihat pada kadar Filler PVC 10%. Pada campuran aspal murni (Filler PVC 0%) nilai VIM yaitu 4,350%, sedangkan pada campuran kadar aspal 3.% (kadar Filler PVC 10%) memiliki nilai VIM 3,4% mengalami penurunan, sehingga dapat dikatakan bahwa dalam pengujian ini, penambahan Filler PVC mempengaruhi nilai VIM. *Void in the Mix (VIM)*. VIM menunjukkan presentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *pourous*. Dan apabila nilai VIM rendah akan mengakibatkan semakin kecil rongga dalam campuran. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi rapat sehingga air dan udara sulit memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal tereduksi. Dan dalam penelitian ini, nilai VIM yang diperoleh semakin tinggi maka penambahan Filler PVC akan menambah keawetan lapis perkerasan aspal.

- Hubungan kadar Filler PVC dan void in mineral agregat (VMA)

Filler PVC 10%,	Filler PVC 30%	Filler PVC 50%
17.6 %	19.9 %	20.5 %
17.8 %	19.1 %	19.0 %
17.0 %	20.0 %	19.7 %

Gambar 11 Hasil Pengukuran VMA masing – masing campuran Filler PVC



Gambar 12. Hubungan antara kadar Filler PVC dengan Nilai VMA

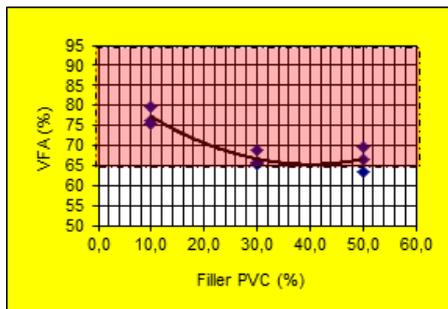
Dari diagram diatas menunjukkan bahwa nilai VMA pada campuran AC-WC dengan menggunakan Filler PVC mengalami kenaikan pada saat penambahan mulai 10%, 30% dan 50%. Nilai VMA tertinggi diperoleh pada kadar Filler PVC 50% dengan nilai VMA 20,5% dan terendah terdapat pada kadar Filler PVC 10% dengan nilai VMA 17,0%. Penambahan Filler PVC pada campuran aspal mempengaruhi nilai VMA. Hal ini disebabkan karena penambahan persenta sekadar Filler PVC yang berada dalam aspal mengakibatkan rongga yang berada dalam VMA yang terisi akan semakin bertambah, sehingga mengakibatkan rongga terisi aspal yang bercampur Filler PVC bertambah. Agregat bergradasi baik atau bergradasi rapat memberikan rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Hal ini disebabkan lapisan Filler PVC telah menyelimuti agregat dan menutup sebagian besar rongga antara butiran. Mengecilnya nilai VMA pada kadar aspal

yang tetap, berakibat memperbesar presentase rongga terisi aspal.

- Hubungan kadar *Filler* PVC dan *Void Fill Asphalt* (VFA)

Filler PVC 10%,	Filler PVC 30%	Filler PVC 50%
76.3 %	65.6 %	63.4 %
75.3 %	68.9 %	69.7 %
79.8 %	65.4 %	66.6 %

Gambar 13. Hasil Pengukuran VFA masing – masing campuran *Filler* PVC



Gambar 14. Hubungan antara kadar *Filler* PVC dengan Nilai VFA

Dari diagram diatas menunjukkan bahwa nilai *Void Filled With Asphalt* (VFA) pada campuran AC - WC dengan menggunakan *Filler* PVC mengalami Penurunan pada saat penambahan persentase kadar *Filler* PVC dari 10%, 30% dan 50%. Nilai VFA terendah diperoleh pada kadar *Filler* PVC 50%, dan nilai VFA tertinggi terjadi pada kadar 10%. Pada campuran aspal murni (*Filler* PVC 0%) nilai VFA 4.77%, sedangkan pada campuran kadar aspal 5.99% (kadar *Filler* PVC 10%) memiliki nilai VFA 79,8 % mengalami kenaikan, sehingga didapat bahwa dalam pengujian ini, penambahan *Filler* PVC mempengaruhi nilai VFA. VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA), sehingga antara nilai VMA dan VFA mempunyai kaitan yang sangat erat. Faktor – faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat (jumlah dan temperatur pemadatan), dan *absorpsi* agregat. Batas untuk VFA adalah Rongga terisi aspal : >75%. Pada percobaan ini hasil dari VFA masih memenuhi syarat meskipun pada penambahan *filler* PVC 10% ada nilai yang melebihi batas ketentuan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian Marshal yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada uji *Marshall* dengan kadar aspal rencana seluruh sifat-sifat *Marshall* yang didapatkan mempunyai hasil yang hampir sama untuk masing-masing jenis campuran dengan tiga persentase komposisi *filler*.
2. Nilai stabilitas dengan menggunakan persentase *Filler* PVC sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC - WC semua variasi memenuhi yang di syaratkan oleh Spek Teknis PU Bina Marga 2018 yaitu lebih besar dari 800 kg.

3. Nilai tertinggi *flow* dengan menggunakan persentase *Filler* PVC sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC - WC memenuhi yang di syaratkan oleh PU Bina Marga yaitu 2 mm – 4 mm.
4. Nilai *Marshall Quotient* menggunakan persentase *Filler* PVC sebagai bahan tambah pada rancangan campuran AC - WC mengalami kenaikan dan memenuhi yang di syaratkan oleh PU Bina Marga 250 kg/mm.
5. Nilai VIM campuran AC -WC dengan persentase *Filler* PVC memenuhi yang di syaratkan oleh PU Bina Marga bahkan melebihi ambang batas yang ditentukan yaitu 3% - 5 %.
6. Nilai VMA pada campuran AC - WC dengan menggunakan *Filler* PVC memenuhi kriteria yang disyaratkan PU Bina Marga 2018 yaitu 15 %.
7. Nilai VFA pada campuran AC - WC dengan menggunakan *Filler* PVC memenuhi kriteria yang disyaratkan PU Bina Marga 2018 yaitu 65 %.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini. Kepada keluarga tercinta. Semoga kegiatan memberikan keberkahan dan bermanfaat bagi kita semua.

Daftar pustaka

- Anonim, (1976), *Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Manual Pemeriksaan Bahan Jalan*, Direktorat Jendral Bina Marga, No.01/MN/BM/1976, Jakarta.
- Anonim, (1978), *The American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part I (Specifications) 15th edition*, AASHTO Publication, Washington.
- Anonim, (1978), *The American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part II (Methods of Sampling and Testing)*. AASHTO Publication, Washington.
- Anonim, (1997) *The Asphalt Institute, Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing*, Superpave Series No.1 (SP-1), Kentucky.
- Anonim, (1998), *Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi*, Jakarta.
- Anonim, (1999), *Departemen Perumahan dan Pengembangan Wilayah, Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimbangwil – Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi dan Prasarana Jalan, No.023/T/BM/1999 SK.No.76/KPTS/Db/1999, Bandung.
- Anonim, (2001), *Departemen Perumahan dan Pengembangan Wilayah, Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas*, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimbangwil – Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi dan Prasarana Jalan, Bandung.

- Anonim, (2002), *Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*, Jakarta.
- Anonim, (2004), *Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Spesifikasi Proyek Pembangunan Jalan dan Jembatan Propinsi Jawa Tengah*, Direktorat Jendral Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Das'at Widodo, (1999), *Agregat Sebagai Bahan Perkerasan Jalan*, Penatarandan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Semarang.
- Harold N. Atkins, (1997), *Highway Materials, Soils and Concretes, 3th Edition Prentice Hall*, New Jersey.
- J. Craus (1981), *Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to filler Type and Properties*, Proceedings of the Association of Asphalt Pavin Technologists, Asphalt Paving Technology, vol.50 pp. 293-315, UK.
- Kerbs, R.D. and Walker, R.D., (1971), *Highway Materials, McGraw Hill*, New York.
- Marsono (1996), *Pengaruh Penggunaan Portland Cement Pada Campuran SMA Grading 0/11 Terhadap Durabilitas Dan Permeabilitas Campuran*, Tesis Magister, UGM, Yogyakarta.
- Mulyono, A.T., (1996), *Variasi Jenis Dan Kadar Filler Terhadap Stabilitas, fleksibilitas dan Tingkat Durabilitas HRS (Hot Rolled Sheet) Kelas B*, Media Teknik, No.3, Edisi Nopember, UGM, Yogyakarta.
- Priyatno, B, (1999), *Perancangan Prasarana Jalan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Jawa Tengah.
- Priyatno, B, (2001), *Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak / Percentage Refusal Density (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan*, Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Jawa Tengah.
- Priyatno, B, (2001), *Parameter Model Analisis Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan Lentur Jalan*, Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Jawa Tengah.
- Ricky Kusmawan, (1999), *Pengaruh Jenis Filler Dan Gradasi Agregat Pada Durabilitas Stone Mastic Asphalt*, Tesis Magister, UGM, Yogyakarta.
- Rian Putrowijoyo, (2006), *Kajian Labaratorium Sifat Marshall Dan Durabilitas Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) dengan membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland Dan Abu Batu Sebagai Filler*, Tesis Magister, UNDIP, Semarang.
- Rudy Erwandy Saragih (2005), *Asbuton Halus Dalam Sistem Aspal - Filler*, Tesis Magister, UGM, Yogyakarta.
- Shell Bitumen, (1990). The Shell Bitumen Hand Book*, Shell Bitumen UK, UK.
- Sukirman, S, (2003), *Beton Aspal Campuran Panas*, Nova, Bandung.
- Watson, J. (1994), *Highway Construction and Maintenance Second Edition*, Longman Scientific & Technical, USA.
- Yasid Muntohar, (2002), *Pengaruh Filler Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)*, Tesis Magister, UNDIP, Semarang.
- Hasan, Y. A., Mardiana, M., & Nama, G. F. (2022). Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas LPG Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Metode Prototype. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(3).
- WP, P. N. S., Nama, G. F., & Komarudin, M. (2022). Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(1).
- Kurniawan, A., Despa, D., & Komarudin, M. (2014). Monitoring besaran listrik dari jarak jauh pada jaringan listrik 3 fasa berbasis single board computer BCM2835. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 2(3).
- Saputra, W. N., Despa, D., Soedjarwanto, N., & Samosir, A. S. (2016). Prototype Generator Dc Dengan Penggerak Tenaga Angin. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 4(1).
- Utomo, H., Sadnowo, A., & Sulistiyanti, S. R. (2014). Implementasi Automatic Transfer Switch Berbasis PLC pada Laboratorium Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 2(2).
- Romana, I., Nama, G. F., & Septama, H. D. (2021). Analisa Performance Jaringan Gigabit Ethernet Local Area Network (LAN) Universitas Lampung. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 9(1).
- Ananda, A. R., Nama, G. F., & Mardiana, M. (2022). Pengembangan Sistem Informasi Geografis Pemerintahan Kota Metro Dengan Metode SSADM (Structured System Analysis and Design Method). *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(1).