



Studi Karakteristik *Marshall* pada Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* dengan Substitusi Sebagian Aspal Menggunakan *Styrofoam*

Dimas Edsa¹, Lizar Lizar²

^{1,2} Teknik Sipil, Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Bengkalis

dimasedsa8@gmail.com, Lizar@polbeng.ac.id

Abstract

Road pavement construction faces challenges arising from the high cost of conventional asphalt and increasing traffic loads that accelerate premature deterioration. This study investigates the use of waste styrofoam (polystyrene) as a partial substitute for 60/70 penetration asphalt in an Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) mixture. The objective was to evaluate the effects of styrofoam substitution at levels of 3%, 4%, 5%, 6%, and 7% of optimum asphalt weight on Marshall characteristics and volumetric parameters. Laboratory experiments employed a wet process in which styrofoam was melted and blended with asphalt at 150–160°C. The optimum asphalt content was first established at 5.5%, after which modified specimens were prepared and tested for stability, flow, voids in mineral aggregate, voids in the mix, voids filled with asphalt, density, and Marshall Quotient. Results showed that styrofoam increased mixture stability, reaching 1,483.80 kg at 5% and 1,481.34 kg at 6%, both exceeding the normal mixture value of 1,418.25 kg. Nevertheless, higher substitution levels increased air voids and aggregate voids while reducing density and asphalt-filled voids. Evaluation against the 2018 General Specifications of Bina Marga, Revision 2, indicated that only the 3% substitution satisfied all technical requirements, particularly the maximum voids-in-the-mix limit of 5%. Therefore, 3% styrofoam is recommended as the optimum substitution level to maintain AC-WC performance, durability, and environmental benefits.

Keywords: AC-WC, Marshall characteristics, Bina Marga 2018, Styrofoam, Asphalt substitution.

Abstrak

Konstruksi perkerasan jalan saat ini menghadapi tantangan berupa tingginya biaya aspal murni dan meningkatnya beban lalu lintas yang menyebabkan kerusakan dini. Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan limbah styrofoam (polistirena) sebagai bahan substitusi aspal penetrasi 60/70 pada campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Tujuan utama penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh substitusi aspal dengan styrofoam pada rentang kadar 3% hingga 7% terhadap karakteristik Marshall dan parameter volumetrik. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan proses pencampuran basah (wet process), di mana styrofoam dicairkan bersama aspal pada suhu 150–160°C. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan terlebih dahulu dan ditetapkan sebesar 5,5%. Selanjutnya, dilakukan pengujian Marshall pada lima variasi kadar substitusi, yaitu 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% dari berat aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan styrofoam meningkatkan nilai stabilitas campuran hingga mencapai puncak pada variasi 5% sebesar 1483,80 kg dan 6% sebesar 1481,34 kg, melampaui campuran normal sebesar 1418,25 kg. Namun, peningkatan kadar styrofoam menyebabkan peningkatan VITM dan VMA serta penurunan kepadatan dan VFWA. Berdasarkan evaluasi terhadap Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, hanya variasi substitusi 3% yang memenuhi seluruh parameter teknis, terutama batas maksimum VITM sebesar 5%. Oleh karena itu, kadar 3% direkomendasikan sebagai kadar substitusi optimum untuk menjaga kinerja, durabilitas, dan manfaat lingkungan campuran AC-WC.

Kata Kunci: AC-WC, Karakteristik Marshall, Bina Marga 2018, Styrofoam, Substitusi Aspal.

1. Pendahuluan

Aspal merupakan material utama dalam konstruksi perkerasan jalan yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat sehingga mampu menyebarkan beban lalu lintas serta menghasilkan permukaan jalan yang kuat, stabil, dan nyaman dilalui. Seiring meningkatnya volume dan beban kendaraan, lapisan perkerasan dituntut memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan seperti retak, deformasi, dan alur (*rutting*). Di sisi lain, penggunaan aspal murni secara terus-menerus berdampak pada tingginya biaya konstruksi serta meningkatnya kebutuhan terhadap sumber daya yang terbatas. Kondisi tersebut mendorong berbagai upaya untuk meningkatkan mutu campuran beraspal melalui modifikasi material yang tidak hanya mampu memperbaiki karakteristik perkerasan, tetapi juga memberikan manfaat dari sisi ekonomi dan lingkungan.

Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan modifikasi aspal adalah limbah *styrofoam* (polystyrene). Penggunaan *styrofoam* sebagai kemasan makanan dan barang sekali pakai terus meningkat setiap tahunnya sehingga menghasilkan timbunan limbah dalam jumlah besar. Di Indonesia diperkirakan sekitar 648 juta *styrofoam* dihasilkan setiap hari (Ebby et al., 2023 dalam Ardiatma et al., 2025). Permasalahan tersebut menjadi ancaman bagi lingkungan karena *styrofoam* memerlukan waktu hingga sekitar 500 tahun untuk terurai secara

alami. Tingginya volume limbah yang tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang optimal mendorong perlunya alternatif pemanfaatan limbah *styrofoam* agar memiliki nilai tambah sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan, proses pendaaur-ulangan plastik pun hanya merubah plastik menjadi sesuatu yang baru yang ketika barang tersebut tidak terpakai lagi maka akan kembali menjadi sampah (Erita et. al, 2019)

Potensi pemanfaatan *styrofoam* dalam campuran beraspal didukung oleh karakteristik materialnya. *Styrofoam* memiliki karakteristik yang mirip dengan aspal, yaitu termoplastik yang berarti melunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali pada suhu ruang. Selain itu, *styrofoam* memiliki kandungan yang sama dengan aspal yaitu berupa resin. Resin adalah cairan yang bersifat adhesi yaitu daya tarik antara zat atau molekul yang tidak serupa, resin ini merupakan bagian yang mudah menguap. Karena memiliki resin dalam kandungannya dan juga sifatnya yang termoplastik, *styrofoam* diharapkan dapat bercampur dengan aspal dan juga diharapkan dapat meningkatkan kemampuan daya tarik aspal dan durabilitasnya (Kinanti et. al.,2022) Selain itu, sifat termoplastik *styrofoam* yang dapat melunak dan meleleh pada suhu pencampuran sekitar 150–160 °C menjadikannya berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi maupun modifikasi aspal. Dibandingkan penggunaan polimer sintetis komersial yang relatif mahal, limbah *styrofoam* menawarkan alternatif yang lebih ekonomis sekaligus mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dan ekonomi sirkular dalam bidang konstruksi jalan.



Gambar 1 Limbah *Styrofoam*

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *styrofoam* dapat memengaruhi karakteristik campuran beraspal berdasarkan parameter Marshall. Roy Anggara (2024) melaporkan bahwa penambahan polystyrene berpotensi meningkatkan performa campuran berdasarkan hasil pengujian Marshall. Rifansyah (2023) menyatakan bahwa sifat termoplastik *styrofoam* memungkinkan material tersebut berikatan dengan aspal pada suhu pencampuran sehingga memberikan pengaruh terhadap karakteristik campuran. Samudra (2022) menjelaskan bahwa *styrofoam* mulai melunak pada suhu sekitar 150–160 °C sehingga dapat memengaruhi nilai stabilitas maupun *flow* campuran. Selain itu, penelitian Nurfadhila (2024) mengenai pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan modifikasi aspal menunjukkan bahwa penambahan polimer mampu meningkatkan nilai stabilitas Marshall pada kadar tertentu. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa *styrofoam* memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai material substitusi sebagian aspal dalam campuran beraspal tanpa memerlukan perubahan proses pencampuran secara signifikan (Tisnawan, 2025).

Karakteristik Marshall merupakan parameter utama dalam mengevaluasi mutu campuran beraspal karena mampu menggambarkan kemampuan campuran dalam menahan beban lalu lintas, mempertahankan stabilitas, serta mengakomodasi deformasi yang terjadi selama masa pelayanan. Parameter yang umum digunakan meliputi stabilitas, *flow*, *Void in mineral aggregate* (VMA), *Void in the mix* (VIM), *Void filled with asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ), yang evaluasinya diperlukan untuk mengetahui apakah campuran hasil modifikasi masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 sehingga layak diterapkan pada konstruksi perkerasan jalan. Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan *styrofoam* sebagai bahan modifikasi aspal, hasil yang diperoleh masih menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh jenis campuran, metode pencampuran, serta kadar *styrofoam* yang digunakan. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak menggunakan *styrofoam* sebagai bahan tambah dengan variasi kadar yang terbatas, sehingga belum memberikan informasi yang komprehensif mengenai pengaruh substitusi *styrofoam* terhadap seluruh karakteristik Marshall pada campuran AC-WC menggunakan aspal penetrasi 60/70 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa evaluasi pengaruh substitusi limbah *styrofoam* pada beberapa variasi kadar terhadap seluruh parameter Marshall (stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFA, dan MQ) campuran AC-WC, sehingga diharapkan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi limbah *styrofoam* sebagai bahan substitusi aspal.

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baik secara akademis maupun praktis. Dari sisi akademis, penelitian ini dapat menambah referensi mengenai pemanfaatan limbah *styrofoam* sebagai bahan substitusi aspal pada campuran AC-WC serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan mengenai modifikasi material perkerasan jalan. Dari sisi praktis, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi masukan dalam pengembangan teknologi perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan dengan tetap memenuhi persyaratan teknis yang berlaku, sekaligus mendukung upaya pengurangan limbah plastik melalui prinsip pembangunan berkelanjutan pada sektor infrastruktur. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah *styrofoam* terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC menggunakan aspal penetrasi 60/70 berdasarkan

Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, serta menentukan pengaruh variasi kadar *styrofoam* terhadap kinerja campuran beraspal sebagai alternatif pemanfaatan limbah yang berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengkaji pengaruh substitusi limbah *styrofoam* terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Tahapan penelitian meliputi pengujian karakteristik material penyusun campuran (agregat kasar, agregat halus, *filler* semen, dan aspal penetrasi 60/70) untuk memastikan kesesuaiannya dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Selanjutnya disusun *Job Mix Design* untuk menentukan proporsi agregat dan Kadar Aspal Rencana (KAR), lalu dibuat 15 benda uji Marshall dengan variasi kadar aspal untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) melalui pengujian Marshall. Sebelum pembuatan benda uji modifikasi, limbah *styrofoam* terlebih dahulu dicuci untuk menghilangkan kotoran, kemudian dicacah agar mudah menyatu dengan aspal. Menggunakan KAO yang telah diperoleh, dibuat 15 benda uji Marshall modifikasi dengan variasi substitusi *styrofoam* sebesar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% terhadap berat aspal optimum dengan menggunakan metode pencampuran basah.



Gambar 2 Mencuci *Styrofoam*

Seluruh benda uji, baik campuran normal maupun modifikasi, diuji Marshall untuk memperoleh parameter stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFWA, *Marshall Quotient* (MQ), dan *Density*. Hasil pengujian dianalisis secara komparatif dan dievaluasi berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 untuk menentukan pengaruh dan kelayakan penggunaan limbah *styrofoam* sebagai bahan substitusi aspal pada campuran AC-WC.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Material Dasar

Sebelum dilakukan pengujian karakteristik campuran beraspal, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap karakteristik material dasar penyusun campuran, yaitu agregat penyusun dan aspal. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa material yang digunakan telah memenuhi persyaratan spesifikasi yang berlaku sehingga dapat mendukung kualitas campuran aspal yang dihasilkan.

Tabel 1 Karakteristik Material Dasar Agregat

Jenis Pengujian	Standar	Persyaratan	Hasil
Analisa Saringan	SNI ASTM C136	-	-
Berat Jenis Semu Agregat Kasar	SNI 1969:2016	Min. 2,5	2,65
Penyerapan Air Agregat Kasar	SNI 1969:2016	Maks. 3%	0,89 %
Kausan Agregat Kasar	SNI 2417:2008	Maks. 40%	16,74 %
Berat Jenis Semu Agregat Halus	SNI 1970:2016	Min 2,5	2,66
Penyerapan Air Agregat Halus	SNI 1970:2016	Maks. 3%	1,33 %
Berat Jenis Semen (<i>Filler</i>)	SNI 2531:2015	3,00 %/d 3,20	3,08

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik material penyusun campuran AC-WC pada Tabel 1, seluruh material yang digunakan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar, agregat halus, dan *filler* berupa semen memenuhi kriteria teknis sehingga dapat digunakan dalam pembuatan campuran beraspal.

Tabel 2 Karakteristik Material Dasar Aspal

Jenis Pengujian	Standar	Persyaratan	Hasil
Daktilitas	SNI 2432-2011	Min. 100 Cm	130,7 Cm
Penetrasi	SNI 2456-2011	Min. 50	62,23
Titik Lembek	SNI 2434-2011	Min. 48 °C	48,3 °C
Titik Nyala	SNI 2433-2011	Min. 232	308 °C
Titik Bakar	SNI 2433-2011	Min. 232	315,5 °C
Berat Jenis	SNI 2441-2011	≥ 1,0	1,022
Kehilangan Berat	SNI 2440-1991	Max. 0,8 %	0,060 %

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik aspal yang meliputi daktilitas, penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, berat jenis, dan kehilangan berat, seluruh parameter yang diuji menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan sesuai standar SNI yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memiliki elastisitas, tingkat kekerasan, kepekaan terhadap suhu, tingkat keamanan terhadap panas, kepadatan, serta

ketahanan terhadap penuaan (*aging*) yang sesuai standar. Dengan terpenuhinya seluruh persyaratan tersebut, aspal yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan layak sebagai bahan pengikat pada campuran AC-WC.

3.2. Kadar Aspal Optimum

Sebelum menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), terlebih dahulu dihitung kadar aspal tengah atau ideal, yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal pada spesifikasi campuran, yang diperoleh dari kadar aspal total jumlah aspal efektif yang menyelimuti butir agregat dan mengisi rongga antaragregat, ditambah aspal yang terserap ke dalam pori agregat. Perhitungan ini mengacu pada rumus Pb sesuai RSNI M-01-2003 dan menjadi dasar penentuan variasi kadar aspal rencana untuk pembuatan benda uji Marshall dalam memperoleh KAO. Pada kadar-kadar lainnya (4%, 4,5%, 5%, dan 6%), meskipun sebagian parameter telah memenuhi spesifikasi, terdapat setidaknya satu parameter yang tidak memenuhi syarat, sehingga kadar aspal pada tingkat tersebut belum dapat dikategorikan sebagai kadar aspal yang optimal secara keseluruhan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kadar 5,5% merupakan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran normal karena mampu menghasilkan keseimbangan antara rongga dalam campuran, kepadatan, ketahanan terhadap beban, kelenturan, serta kekakuan campuran, sehingga memenuhi seluruh persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 untuk campuran AC-WC. Nilai KAO sebesar 5,5% inilah yang selanjutnya digunakan sebagai kadar aspal tetap dalam pembuatan benda uji Marshall modifikasi dengan variasi substitusi *styrofoam*.

Tabel 3 Data Kadar Aspal Rencana

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Hasil Pengujian				
		4	4,5	5	5,5	6
VMA (%)	Min.15	20,56	19,41	16,93	16,04	14,85
VITM (%)	Min.3-Maks.5	13,08	10,71	6,79	4,59	2,05
VFWA (%)	Min.65	36,50	44,93	60,06	71,37	86,81
Stabilitas (kg)	Min.800	874,61	1099,29	1110,46	1418,25	1153,67
Flow (mm)	Min.2 -Maks.4	3,18	3,20	3,18	3,25	3,53
MQ (kg/mm)	Min.250	321,12	368,42	364,86	440,65	327,22
Density (gr/cc)	-	2,155	2,197	2,277	2,31	2,358

3.3. Analisis Marshall Modifikasi *Styrofoam*

Pengujian Marshall pada variasi campuran *styrofoam* dengan kadar aspal optimum dilakukan untuk memperoleh nilai karakteristik Marshall serta mengidentifikasi pengaruh penambahan *styrofoam* terhadap kinerja campuran beraspal, mengingat substitusi ini berpotensi mengubah sifat fisik dan mekanik campuran baik dari segi kekuatan menahan beban, ketahanan terhadap deformasi, maupun kepadatan yang dihasilkan. Analisis dilakukan terhadap seluruh parameter Marshall, yaitu stabilitas, *flow*, *Void in mineral aggregate* (VMA), *Void filled with asphalt* (VFA), *Void in the mix* (VIM), *Density*, dan *Marshall Quotient* (MQ), pada setiap variasi kadar *styrofoam* untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai pengaruhnya terhadap kinerja campuran AC-WC. Hasil pada setiap variasi kadar tersebut kemudian dibandingkan dengan campuran normal untuk melihat kecenderungan perubahan yang terjadi, sekaligus dievaluasi kesesuaiannya terhadap Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, guna menentukan kadar substitusi *styrofoam* yang paling optimal bagi kinerja campuran tanpa mengabaikan aspek keberlanjutan lingkungan.

Tabel 4 Komposisi Substitusi Aspal dengan *Styrofoam*

Kadar <i>Styrofoam</i> (%)	Berat <i>Styrofoam</i> (gr)	Berat Aspal (gr)	Total Binder (gr)
3	1.98	64.02	66
4	2.64	63.36	66
5	3.30	62.70	66
6	3.96	62.04	66
7	4.62	61.38	66

Tabel 5 Data Marshall Modifikasi

Kadar <i>Styrofoam</i>	Kadar Aspal	Stabilitas	Flow	VFWA	VMA	VIM	Density	Marshall Quotient
(%)	(%)	(kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(gr/cc)	(kg/mm)
Rata-rata Hasil Perhitungan								
3	5,5	1270.23	3.4	70.18	16.43	4.91	2,303	378.03

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.12865>

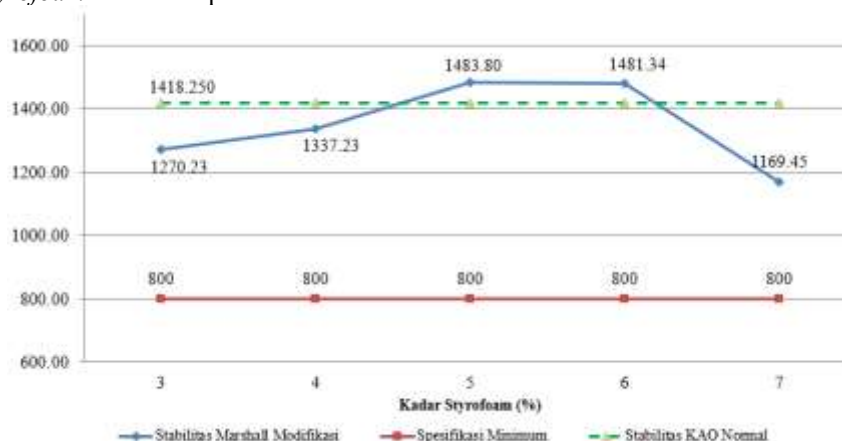
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

4	5,5	1337.23	3.4	67.13	17.36	5.78	2,277	398.43
5	5,5	1483.80	3.7	63.36	18.41	6.82	2,248	397.41
6	5,5	1481.34	3.7	56.47	20.31	8.84	2,196	410.30
7	5,5	1169.45	3.5	55.59	21.02	9.47	2,177	332.40

Berdasarkan hasil rata-rata perhitungan pada Tabel di atas, selanjutnya masing-masing parameter Marshall dianalisis dalam bentuk grafik untuk melihat kecenderungan perubahan nilai stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFWA, *Density*, dan *Marshall Quotient* akibat variasi kadar *styrofoam* yang digunakan.

Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar substitusi *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap stabilitas normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai stabilitas akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.

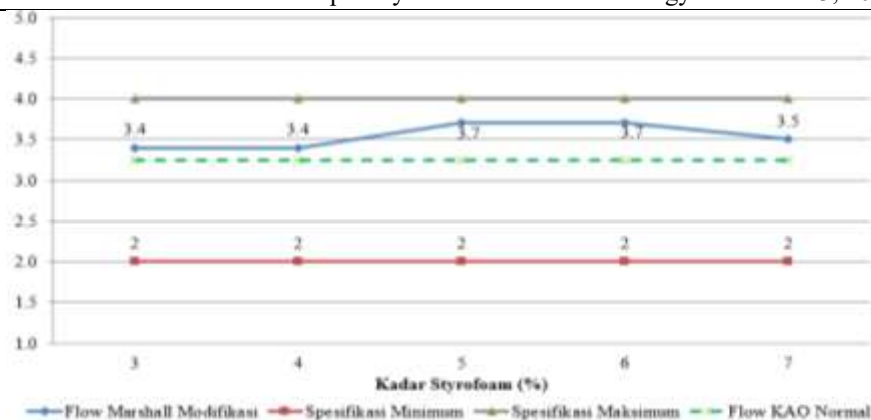


Gambar 3 Nilai Stabilitas Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hasil pengujian, nilai stabilitas campuran AC-WC dengan substitusi *styrofoam* pada rentang kadar 3% hingga 7% menunjukkan pola peningkatan terlebih dahulu sebelum kemudian mengalami penurunan. Pada kadar 3%, nilai stabilitas tercatat sebesar 1270,23 kg, kemudian meningkat menjadi 1337,23 kg pada kadar 4%. Peningkatan terus berlanjut hingga mencapai nilai tertinggi pada kadar 5% sebesar 1483,80 kg, yang kemudian relatif bertahan pada kadar 6% dengan nilai 1481,34 kg. Kedua nilai tersebut bahkan melampaui stabilitas campuran normal yang sebesar 1418,25 kg, mengindikasikan bahwa substitusi *styrofoam* pada kadar tersebut mampu meningkatkan kekakuan campuran sehingga kemampuannya dalam menahan beban menjadi lebih baik dibandingkan campuran tanpa substitusi. Namun, memasuki kadar 7%, nilai stabilitas mulai menunjukkan kecenderungan menurun dibandingkan puncaknya pada kadar 5% dan 6%. Penurunan ini diduga mulai dipengaruhi oleh berkurangnya proporsi aspal efektif yang berfungsi sebagai bahan pengikat akibat sebagian tergantikan oleh *styrofoam*, sehingga ikatan antaragregat berangsur menjadi kurang optimal. Meskipun terjadi penurunan, nilai stabilitas pada kadar 7% masih berada jauh di atas batas minimum persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebesar 800 kg. Berdasarkan parameter stabilitas pada rentang kadar 3% hingga 7%, kadar 5% hingga 6% memberikan kinerja terbaik karena menghasilkan nilai stabilitas tertinggi yang melampaui campuran normal.

Flow (Kelelahan)

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar substitusi *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap *flow* normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai *flow* akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.

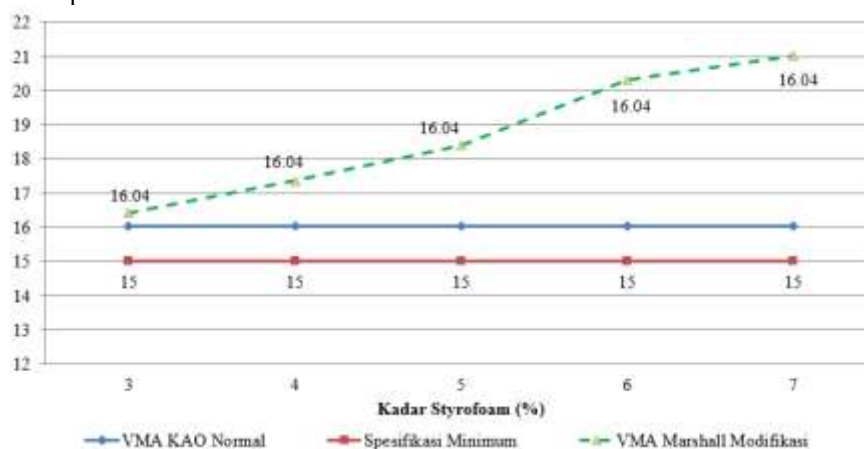


Gambar 4 Nilai Flow Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hasil pengujian, nilai *flow* campuran AC-WC dengan substitusi *styrofoam* pada rentang kadar 3% hingga 7% menunjukkan pola peningkatan terlebih dahulu sebelum kemudian mulai menurun. Pada kadar 3% dan 4%, nilai *flow* tercatat sebesar 3,4 mm, kemudian meningkat menjadi 3,7 mm pada kadar 5% dan 6%, yang merupakan nilai *flow* tertinggi pada rentang tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada kadar 5% dan 6%, campuran masih memiliki fleksibilitas yang cukup baik dalam mengakomodasi deformasi sebelum mengalami keruntuhan. Memasuki kadar 7%, nilai *flow* mulai menurun menjadi 3,5 mm, mengindikasikan bahwa campuran mulai mengalami peningkatan kekakuan seiring bertambahnya kandungan *styrofoam* yang menggantikan sebagian aspal, sehingga kemampuan campuran untuk mengalami deformasi plastis mulai berkurang. Jika dibandingkan dengan campuran normal yang memiliki nilai *flow* sebesar 3,25 mm, seluruh kadar *styrofoam* pada rentang 3% hingga 7% menghasilkan nilai *flow* yang lebih tinggi atau relatif setara. Secara keseluruhan, nilai *flow* pada rentang kadar 3% hingga 7% masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, karena berada dalam rentang yang disyaratkan, yaitu di atas batas minimum 2 mm dan di bawah batas maksimum 4 mm.

Void In Mineral Agregate (VMA)

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar VMA *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap VMA normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai VMA akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.



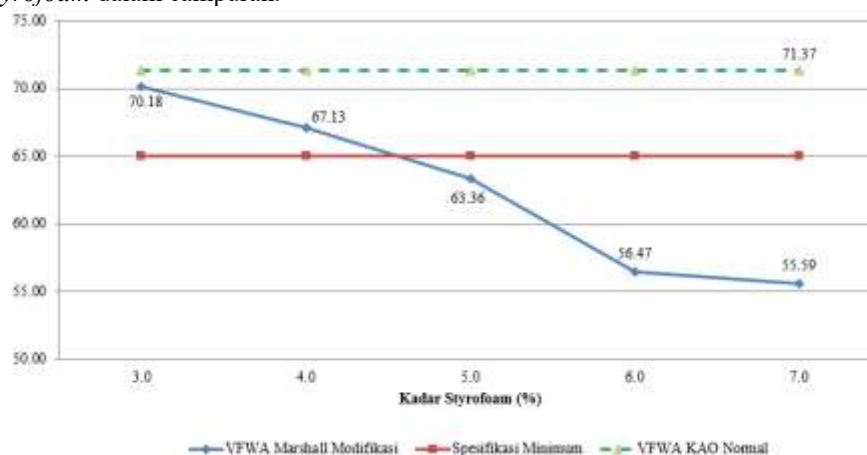
Gambar 5 Nilai VMA Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap nilai VMA, terlihat bahwa penambahan *styrofoam* sebagai substitusi aspal pada rentang kadar 3% hingga 7% menyebabkan nilai VMA mengalami peningkatan secara bertahap dibandingkan campuran normal. Pada campuran normal, nilai VMA tercatat sebesar 16,04%, sedangkan pada kadar *styrofoam* 3% nilai VMA telah meningkat menjadi 16,43% dan terus menunjukkan kecenderungan bertambah seiring naiknya kadar *styrofoam* hingga kadar 7%. Peningkatan nilai VMA ini mengindikasikan bahwa semakin besar kadar *styrofoam* yang disubstitusikan, semakin besar pula volume rongga antar agregat dalam campuran. Kondisi ini terjadi karena penggantian sebagian aspal dengan *styrofoam* mengurangi kemampuan bahan pengikat untuk mengisi ruang kosong di antara agregat secara optimal, sehingga volume rongga agregat yang tidak terisi menjadi lebih besar dibandingkan campuran normal. Hal ini juga dapat dikaitkan dengan sifat *styrofoam* yang tidak sepenuhnya menyatu dengan agregat sebagaimana aspal, sehingga distribusi bahan pengikat pada permukaan agregat menjadi kurang merata dan turut memperbesar rongga yang terbentuk. Selain itu, peningkatan nilai VMA pada rentang kadar ini juga mengindikasikan adanya kecenderungan penurunan kepadatan campuran, meskipun secara teknis kondisi tersebut belum berdampak pada penurunan kinerja campuran secara signifikan.

Meskipun demikian, seluruh variasi kadar *styrofoam* pada rentang 3% hingga 7% masih memenuhi spesifikasi minimum AC-WC sebesar 15%, bahkan menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan campuran normal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada rentang kadar 3% hingga 7%, penambahan *styrofoam* memberikan kecenderungan peningkatan nilai VMA pada campuran AC-WC.

Void filled with asphalt (VFWA)

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar VFWA *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap VFWA normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai VFWA akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.

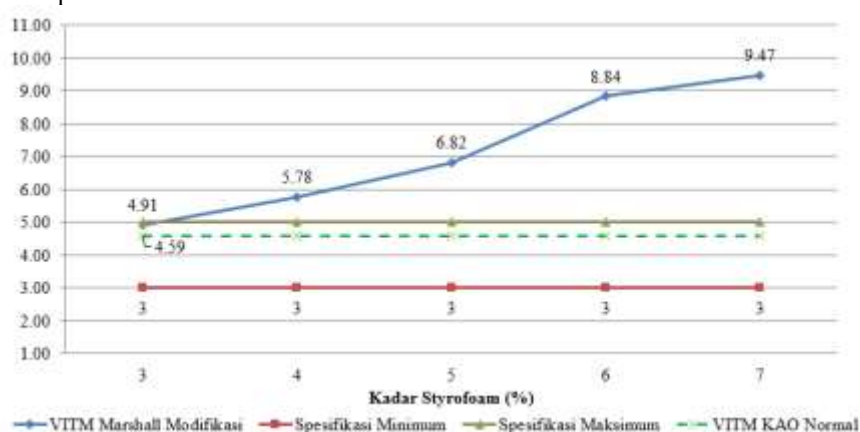


Gambar 6 Nilai VFWA Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap nilai VFWA, terlihat bahwa penambahan *styrofoam* sebagai substitusi aspal menyebabkan nilai VFWA cenderung menurun. Pada campuran normal, nilai VFWA sebesar 71,37%, sedangkan pada campuran modifikasi dengan kadar *styrofoam* 3% didapat nilai VFWA sebesar 70,18% dan pada kadar 4% *styrofoam* nilai VFWA menjadi 67,13% dan masih memenuhi spesifikasi minimum AC-WC sebesar 65%. Namun, ketika kadar *styrofoam* ditingkatkan menjadi 4% hingga 12%, nilai VFWA terus menurun dari 63,36% hingga mencapai 55,26%, sehingga tidak lagi memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Penurunan nilai VFWA ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase *styrofoam* yang digunakan, semakin kecil rongga antar agregat yang terisi oleh bahan pengikat efektif. Hal tersebut terjadi karena sebagian aspal yang berfungsi mengisi rongga dan mengikat agregat telah digantikan oleh *styrofoam*, sehingga kemampuan campuran dalam mengisi rongga menjadi berkurang. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kadar *styrofoam* yang semakin tinggi memberikan pengaruh negatif terhadap nilai VFWA campuran AC-WC, dan berdasarkan parameter ini, kadar *styrofoam* 3% merupakan variasi tertinggi yang masih memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan.

Void in the mix (VITM)

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar VITM *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap VITM normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai VITM akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.



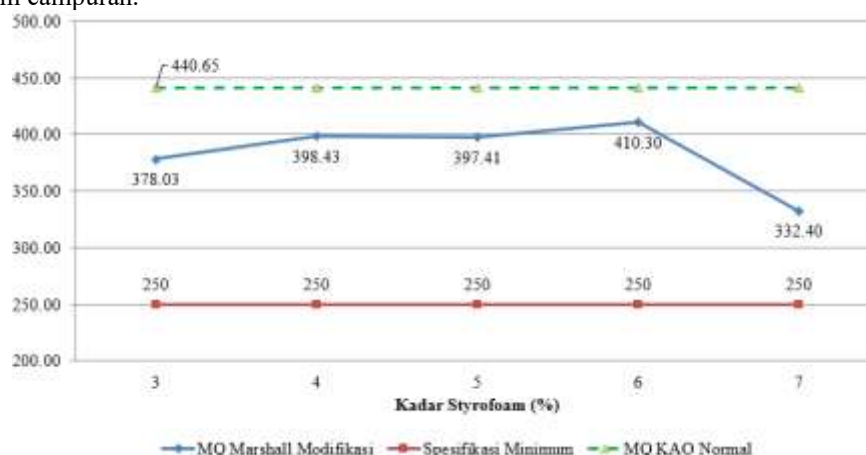
Gambar 7 Nilai VITM Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap nilai VITM, terlihat bahwa penambahan *styrofoam* sebagai substitusi aspal pada rentang kadar 3% hingga 7% menyebabkan nilai VITM mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan campuran normal. Pada campuran normal, nilai VITM tercatat sebesar 4,59%, sedangkan

pada kadar *styrofoam* 3% nilai VITM telah meningkat menjadi 4,91% dan terus menunjukkan kecenderungan bertambah seiring naiknya kadar *styrofoam* hingga kadar 7%. Kenaikan nilai VITM ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar *styrofoam* yang disubstitusikan, semakin besar pula rongga udara yang terbentuk dalam campuran. Kondisi tersebut disebabkan oleh berkurangnya jumlah aspal efektif akibat proses substitusi, sehingga kemampuan bahan pengikat untuk mengisi rongga antar agregat menjadi lebih rendah dan menyebabkan meningkatnya volume rongga udara dalam campuran. Jika dibandingkan dengan spesifikasi AC-WC yang mensyaratkan nilai VITM berada pada rentang 3%–5%, pada rentang kadar 3% hingga 7% hanya kadar *styrofoam* 3% yang memenuhi persyaratan tersebut, sedangkan kadar 4% hingga 7% telah menghasilkan nilai VITM yang melampaui batas maksimum yang ditentukan.

Marshall Quotient (MQ)

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar MQ *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap MQ normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai MQ akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.

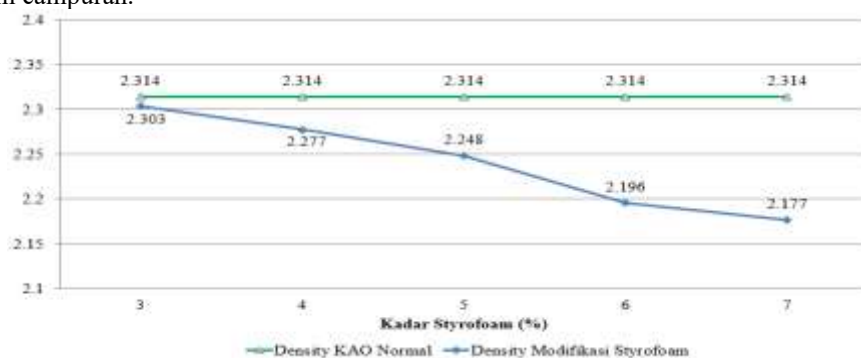


Gambar 8 Nilai MQ Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap nilai MQ, terlihat bahwa penambahan *styrofoam* memberikan pengaruh terhadap nilai MQ campuran AC-WC pada rentang kadar 3% hingga 7%. Pada kadar *styrofoam* 3%, nilai MQ tercatat sebesar 378,03 kg/mm, kemudian meningkat menjadi 398,43 kg/mm pada kadar 4% dan terus menunjukkan kecenderungan naik hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 410,30 kg/mm pada kadar 6%. Namun, memasuki kadar 7%, nilai MQ mengalami penurunan yang cukup signifikan menjadi 332,40 kg/mm. Secara umum, seluruh variasi kadar *styrofoam* pada rentang 3% hingga 7% menghasilkan nilai MQ yang berada di atas batas minimum spesifikasi AC-WC sebesar 250 kg/mm, sehingga seluruh campuran pada rentang tersebut masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Nilai MQ yang tinggi pada rentang kadar ini menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat kekakuan yang baik dan mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas.

Density (Kepadatan)

Berdasarkan hasil pengujian marshall pada masing-masing kadar MQ *styrofoam*, dibuat grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap MQ normal guna mengetahui kecenderungan perubahan nilai MQ akibat penambahan *styrofoam* dalam campuran.



Gambar 9 Nilai Density Marshall Modifikasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar *styrofoam* terhadap nilai *Density*, terlihat bahwa penambahan *styrofoam* sebagai substitusi aspal pada rentang kadar 3% hingga 7% menyebabkan nilai *Density* mengalami penurunan secara konsisten, yaitu dari 2,303 gr/cc pada kadar 3% hingga terus menurun pada kadar-kadar berikutnya, dibandingkan campuran normal yang berada pada nilai 2,314 gr/cc. Penurunan *Density* ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar *styrofoam* yang disubstitusikan, campuran menjadi semakin tidak padat, yang disebabkan

oleh *styrofoam* yang menggantikan aspal tidak mampu mengisi dan merekatkan ruang antar agregat seefektif aspal murni, sehingga susunan partikel dalam campuran menjadi semakin renggang. Pada rentang kadar ini, penurunan paling signifikan terjadi antara kadar 5% menuju 6%, dengan selisih sebesar 0,052 gr/cc, sebelum kemudian laju penurunan mulai melambat memasuki kadar 7%. Penurunan nilai *Density* yang terjadi seiring bertambahnya kadar *styrofoam* pada rentang 3% hingga 7% ini sejalan dengan kecenderungan kenaikan nilai VITM dan VMA, karena campuran yang semakin tidak padat menghasilkan rongga udara yang semakin besar dalam campuran.

4. Kesimpulan

Seluruh material dasar memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan menghasilkan Kadar Aspal Optimum 5,5%. Substitusi *styrofoam* meningkatkan stabilitas dan Marshall Quotient hingga kadar 5–6%, sedangkan flow tetap memenuhi persyaratan. Namun, peningkatan kadar *styrofoam* menaikkan VMA dan VIM serta menurunkan VFWA dan density, sehingga campuran semakin berongga dan kurang padat. VIM menjadi parameter pembatas karena hanya substitusi 3% yang memenuhi rentang 3–5%. Dengan mempertimbangkan seluruh karakteristik Marshall, kadar *styrofoam* 3% merupakan kadar optimal yang memenuhi seluruh persyaratan teknis, menjaga kualitas dan durabilitas AC-WC, serta mendukung pemanfaatan limbah plastik dan penerapan ekonomi sirkular pada konstruksi jalan secara berkelanjutan pada infrastruktur Indonesia.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Bengkalis atas dukungan fasilitas, sarana, dan prasarana laboratorium yang telah disediakan selama proses penelitian ini berlangsung, sehingga seluruh rangkaian pengujian dapat terlaksana dengan baik dan lancar. Apresiasi yang tulus juga penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Lizar, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi yang telah diberikan sejak tahap perencanaan hingga penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih turut penulis sampaikan kepada seluruh tim pengujian laboratorium yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan pengujian serta proses pengumpulan data, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Semoga segala bantuan, dukungan, dan bimbingan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal serta menjadi kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik perkerasan jalan

Reference

- Anggara, R. & Franchitika, R. (2024). Pengaruh Penambahan Limbah *Styrofoam* Terhadap Hasil Marshall Untuk Ac-Bc - *Effect Of Adding Styrofoam Waste On Marshall Results For Ac-Bc* [Http://Dx.Doi.Org/10.36764/Ju.V8i2.1492](http://Dx.Doi.Org/10.36764/Ju.V8i2.1492)
- Ardiatma, D., Ilyas, N. I., Nico Halomoan, & Indriyani, Y. M. (2025). Pemanfaatan Limbah Plastik Ps (Polystyrene) Jenis *Styrofoam* Menjadi Paving Block Dengan Campuran Silica Fume Sebagai Upaya Reduksi Sampah Plastik: Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 17(1), 56–72. <https://doi.org/10.20885/Jstl.Vol17.Iss1.Art5>
- Erita Anastasia C., Guswandi Guswandi, & Lizar Lizar. (2019). Pengaruh Pencampuran Limbah Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Nilai Marshall Aspal Pori.
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2)
- Kinanti, A., Et. Al. (2022). Tinjauan Durabilitas Penambahan Kadar 1,5% *Styrofoam* Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course* (Ac-Wc)
- Nurfadhila, T., Et. Al. (2024). Perbandingan Kinerja Marshall Pada Campuran Aspal Ac-Wc Menggunakan Plastik Polypropilene (Pp) Dan Plastik High Density Polyethylene (Hdpe) <https://doi.org/10.54297/Sciej.V5i2.661>
- Rifansyah, M. (2023). Pengaruh Penambahan *Styrofoam* Pada Campuran Ac-Bc (Asphalt Concrete – Binder Course) Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall
- Rsmi M-01-2003, Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sni 06-2440:1991, Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sni 1969:2016, Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sni 1970:2016, Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sni 2417:2008, Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi, Los Angeles, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sni 2432:2011, Cara Uji Daktilitas Aspal, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sni 2531:2015, Metode Uji Densitas Semen Hidraulis
- Sni Astm C136, Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Jalus Dan Agregat Kasar, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Tandiabang, S., Et. Al. (2022). Pengaruh *Styrofoam* Sebagai Bahan Tambah Campuran Ac-Wc Batu Sungai Tetean Kabupaten Mamasa

Tisnawan, R., Husaini, R. R., Yazid, M., & Saventina, E. M. (2025). Analisis Karakteristik Marshall Dari Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc) Dengan Penambahan Limbah *Styrofoam* (Polystyrene) Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Impression: Jurnal Teknologi Dan Informasi*, 4(1), 83-89