

Investigasi Muatan Elektrik Permukaan dari Beberapa Jenis *Tack Coat* dan Agregat Bahan Perkerasan

R.D. Nugroho¹, T. Rahman^{1*}, S.H.T. Utomo¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: taqia.rahman@ugm.ac.id

INTISARI

Kekuatan perkerasan tidak hanya bergantung pada sifat mekanis dan kekakuan dari setiap lapisan secara individu, tetapi juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar-lapisan agar bertindak sebagai sistem monolitik dalam menahan beban lalu lintas dan beban termal. Aplikasi ringan bahan pengikat bitumen (yang disebut "*tack coat*") umumnya diterapkan di antara permukaan lapisan perkerasan untuk memastikan kuat geser yang mencukupi. Salah satu faktor yang memengaruhi kuat geser adalah karakteristik muatan elektrik yang dimiliki oleh agregat dalam campuran aspal dan *tack coat* yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui muatan listrik permukaan dari beberapa jenis *tack coat* dan agregat bahan perkerasan. Uji XRF dilakukan pada 3 jenis agregat (andesit, batu sungai progo, *limestone*) untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada agregat tersebut. *Zeta potential test* kemudian dilaksanakan pada 3 jenis agregat dan 3 jenis aspal emulsi untuk mencari interaksi elektrostatis yang akan terjadi saat agregat bahan perkerasan dan emulsi sebagai *tack coat* tersebut bertemu. Hasil menunjukkan pada kondisi pH asam penggunaan batu andesit dan batu sungai progo merupakan hal yang disarankan untuk mendapatkan kuat geser optimum sedangkan pada kondisi pH basa penggunaan batu *limestone* lebih disarankan daripada 2 jenis batu lainnya.

Kata kunci: *Interface Shear Strength; Tack Coat; Muatan Elektrik; Interaksi Elektrostatis*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

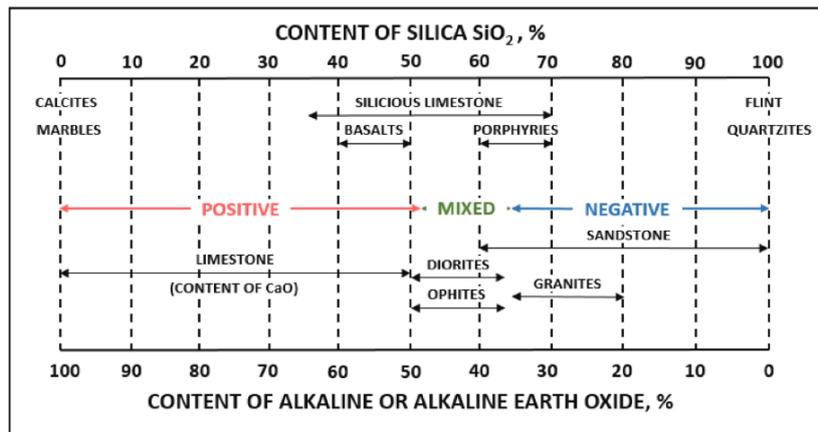
Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan dengan material yang berbeda. Kekuatan perkerasan tidak hanya bergantung pada sifat mekanis dan kekakuan dari setiap lapisan secara individu, tetapi juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar-lapisan (*Interface Shear Strength/Resistance, ISS*). ISS ini memengaruhi ketahanan dan durabilitas perkerasan (White, 2017), sehingga merupakan faktor yang menentukan umur layan perkerasan aspal. Kerusakan yang sering disebabkan oleh ISS yang buruk antara lain *Slippage Cracking, de-Bonding*, dan deformasi perkerasan (Yang dan Li, 2021).

Untuk memastikan struktur monolitik tercapai, aplikasi ringan bahan pengikat bitumen (yang disebut "*tack coat*") umumnya diterapkan di antara permukaan lapisan perkerasan (Tashman *et al.*, 2008). ISS antar lapisan ber-*tack coat* dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis dan takaran *tack coat*, takaran, suhu, tekstur permukaan, kondisi kelembapan, kebersihan permukaan, dan sebagainya (Wang *et al.*, 2017). Kuat geser antarlapisan (ISS) ini juga dapat dipengaruhi oleh muatan elektrik yang dimiliki oleh agregat pada campuran aspal dan *tack coat* pada permukaan antarlapisan. Dengan demikian, pemilihan *tack coat* dan agregat dengan muatan yang berlawanan atau serupa dapat memengaruhi kuat geser antar lapisan. Jika suatu lapisan emulsi dan agregat memiliki muatan yang sama, ikatan/adhesi yang kuat berpotensi tidak terjadi (Lee dan Ahn, 2016). Namun, hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara khusus mengeksplorasi bagaimana pemilihan *tack coat* dengan muatan elektrik yang berlawanan atau serupa dengan agregat memengaruhi kekuatan geser antarlapisan perkerasan jalan. Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi muatan elektrik permukaan beberapa tipe *tack coat* dan agregat yang biasa digunakan pada konstruksi perkerasan jalan.

1.2 Penelitian terdahulu terkait muatan elektrik

Hefer dan Little (2005) menyatakan bahwa muatan elektrik permukaan agregat dapat didekati dengan zeta potensial. Terdapat teori yang menyatakan kuat lemahnya interaksi muatan permukaan antara agregat dan emulsi didasarkan pada kandungan silika dan alkali atau alkali tanah oksida pada agregat tersebut (Mertens dan Wright, 1959). Maka dari itu perlu diketahui juga kandungan mineral yang terdapat pada jenis-jenis agregat yang digunakan pada perkerasan. Dengan ditemukannya formasi jenis agregat dan *tack coat* yang tepat, diharapkan lapisan perkerasan dapat memiliki kuat ikat yang baik dan dapat menerima beban kendaraan di atasnya tanpa terjadi kerusakan yang tidak diinginkan.

Emulsi tipe "oil in water" yang merupakan bahan utama *tack coat* dan agregat memiliki kandungan muatan yang bervariasi dalam rentang ekstrim dari elektropositif hingga elektronegatif (Lee dan Ahn, 2016). Terdapat penelitian yang menyatakan bahwa agregat "asam," yaitu agregat dengan kandungan silika tinggi, umumnya memiliki muatan elektronegatif, sementara agregat "basa" memiliki muatan elektropositif dan banyak mengandung oksida alkali dan alkali tanah (Bellanger dan Duriez, 1957, Mertens dan Wright, 1959). Hal ini didukung dengan contoh, *limestone* terutama terdiri dari kalsium karbonat sehingga memiliki kandungan silika yang rendah. Oleh karena itu, dalam klasifikasi jenis muatan, *limestone* dikategorikan memiliki muatan permukaan elektropositif. Agregat yang mengandung silika, seperti batu pasir, kuarsa, atau granit, dikategorikan memiliki muatan elektronegatif. Untuk mendapatkan tingkat adhesi maksimum yang diinginkan, sebaiknya memilih emulsi dengan muatan elektrik yang berlawanan dengan agregat, karena ada daya tarik antara dua bahan yang bermuatan berlawanan. Oleh karena itu, emulsi anionik akan lebih tepat untuk agregat yang bermuatan elektropositif, sementara emulsi kationik akan lebih tepat untuk agregat permukaan yang bermuatan elektronegatif. Klasifikasi agregat berdasarkan kandungan silika serta oksida alkali dan alkali tanah dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Klasifikasi jenis agregat berdasarkan kandungan silika dan oksida alkali dan alkali tanah (Mertens dan Wright, 1959).

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah teknik analisis unsur yang dapat digunakan untuk mengetahui kandungan mineral agregat. XRF menggunakan kristal analitik untuk membedakan sinar X yang keluar dari permukaan sampel. Kristal analitik dengan komposisi yang diketahui akan memancarkan panjang gelombang yang berbeda untuk tiap kandungan mineral dari sampel yang sedang diselidiki (Nasrazadani dan Hassani, 2016). XRF bekerja dengan memfokuskan sinar X ke permukaan material. Sinar X ini akan tersebar oleh atom atau diserap dan mengeluarkan elektron dari sebuah atom yang akan menciptakan situasi yang tidak stabil sehingga akan dilakukan pemindahan elektron dari lapisan luar ke lapisan dalam. Ketika ini terjadi, radiasi sekunder atau fluoresensi dipancarkan dengan panjang gelombang yang berbeda-beda untuk identifikasi kandungan yang ada (Goodman et al., 2015).

Asphalt Institute (1997) menyebutkan bahwa zeta potensial adalah pengukuran intensitas muatan positif atau negatif dari partikel aspal emulsi dan/atau agregat. Alat seperti *zetasiser* akan mengukur kecepatan pergerakan (mobilitas elektroforetik) droplet emulsi aspal atau partikel agregat ketika ditempatkan dalam medium berair dengan pH tertentu. Intensitas muatan yang dimiliki setiap droplet atau partikel, baik positif atau negatif, dapat diungkapkan dalam milivolt (1/1.000 volt) sebagai zeta potensial. Pengujian zeta potensial ini akan menjadi pendekatan kandungan muatan elektropositif dan elektronegatif emulsi dan agregat yang berpengaruh terhadap interaksi elektrostatis nantinya. Interaksi elektrostatis pada dasarnya dibedakan menjadi tolak-menolak untuk muatan sejenis dan tarik-menarik untuk muatan yang berlawanan.

2 METODOLOGI

2.1 Material yang Digunakan

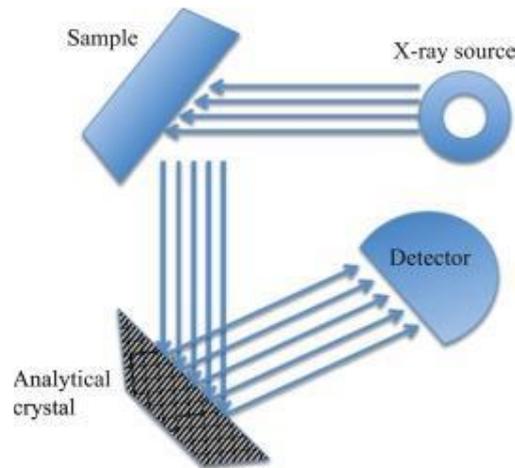
Penelitian dilakukan menggunakan beberapa material sebagai berikut.

- a) Tiga jenis agregat yang berbeda digunakan dalam penelitian ini (1) Batu Andesit, (2) Batu dari Sungai Progo yang didapatkan dari PT Surya Karya Setiabudi dan (3) Batu *Limestone* yang didapatkan dari penambangan rakyat Pracimantoro, Wonogiri.

- b) Tiga jenis *tack coat*: (1) Emulsi CRS-1, (2) CRS-1P yang didapatkan dari PT Buntara Megah Inti dan emulsi (3) SS-1h yang didapatkan dari PT Aspal Polimer Emulsindo. CRS-1 dan CRS-1P merupakan emulsi *rapid setting* sedangkan SS-1h merupakan emulsi *slow setting*.

2.2 Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) Agregat

Skema pengujian XRF dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pengujian ini akan dilakukan pada 3 jenis agregat yang telah dihaluskan (lolos ayakan No.200). Dari pengujian XRF nantinya akan didapatkan kandungan mineral yang terdapat pada 3 jenis agregat yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2.1 Skema pengujian XRF (Nasrazadani dan Hassani, 2016).

2.3 Pengujian Zeta Potensial

Pengujian Zeta Potensial dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut.

- Pengujian nilai pH pada 3 jenis emulsi yang digunakan menggunakan pH meter. pH meter yang digunakan sebaiknya dikalibrasi terlebih dahulu agar hasil yang didapatkan akurat. Pengujian dilakukan dengan mencelupkan sensor pH meter ke dalam emulsi sehingga terbaca pH emulsi tersebut. Pengujian menunjukkan nilai pH emulsi CRS-1, CRS-1P, dan SS-1h secara berurutan adalah 2,1; 2,3; dan 11,5. Nilai ini juga merepresentasikan jenis *emulsifier* yang digunakan pada ketiga emulsi, yaitu asam kuat (HCl) pada CRS-1 dan CRS-1P serta basa kuat (NaOH) pada SS-1h.
- Pembuaan larutan dengan nilai pH sama dengan nilai pH emulsi. Larutan ini dibuat dengan maksud sebagai pelarut dari emulsi dan agregat saat dilakukan pengujian zeta potensial. Untuk pengujian ini dibuat larutan dengan pH 2 (representasi emulsi kationik), 7 (netral) dan 11,5 (representasi emulsi anionik). Pembuatan larutan dilakukan dengan menggunakan larutan asam kuat (HCl) 5 Molar, basa kuat (NaOH) 5 Molar, dan *deionized water*. Larutan asam dilakukan dengan mencampur HCl dengan menambahkan *deionized water* perlahan sehingga nilai pH sesuai dengan yang diinginkan. Metode yang sama dilakukan pada larutan basa dengan mencampur NaOH dengan *deionized water*. Perlu dilakukan pengecekan kembali dengan pH meter supaya nilai pH sudah akurat.
- Pengujian zeta potensial agregat dilakukan dengan melarutkan masing-masing serbuk agregat ke dalam tiap larutan pH yang telah dibuat. Campuran ini kemudian dimasukkan ke dalam kuvet dan dilakukan pengujian zeta potensial menggunakan *zetasiser*.
- Pengujian zeta potensial emulsi dilakukan dengan memisahkan fase air dan dispersi aspal terlebih dahulu menggunakan *high speed sentrifuge*. Setelahnya, fase air tiap emulsi dilarutkan ke dalam tiap larutan pH masing-masing (pH 2 untuk emulsi asam dan pH 11,5 untuk emulsi basa). Campuran ini kemudian dimasukkan ke dalam kuvet dan dilakukan pengujian zeta potensial menggunakan *zetasiser*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian XRF

Pengujian XRF yang dilaksanakan pada 3 jenis agregat dapat dilihat pada Tabel 3.1. Terlihat bahwa mayoritas kandungan mineral yang berada pada masing-masing agregat adalah SiO_2 pada Andesit dan Batu Sungai Progo serta

CaO pada *Limestone*. Dengan demikian berdasarkan Mertens dan Wright (1959) Batu *Limestone* memiliki kecenderungan muatan elektropositif dikarenakan memiliki kandungan alkali oksida (Ca) yang sangat besar. Di sisi lain Andesit dan Batu Sungai Progo memiliki kecenderungan muatan elektronegatif dikarenakan memiliki kandungan silika oksida (SiO_2) yang sangat besar.

Tabel 3.1 Hasil pengujian XRF agregat.

Komponen	Hasil (% Massa)		
	Andesit	Batu Sungai Progo	<i>Limestone</i>
CaO	7,77	7,87	62,9
SiO ₂	59,8	60,2	4,93
MgO	(2,85)	ND	(3,52)
Al ₂ O ₃	18,8	19,3	2,08
Fe ₂ O ₃	8,29	9,36	0,555
ZrO ₂	0,367	0,383	0,505
SO ₃	0,0415	0,219	0,206
K ₂ O	1,11	1,55	0,108
TiO ₂	0,661	0,798	0,0551
MnO	0,190	0,197	0,0263
SrO	0,0544	0,0792	0,0132
P ₂ O ₅	ND	ND	ND
V ₂ O ₅	0,0215	0,0270	ND
Cr ₂ O ₃	0,0028	ND	ND
Na ₂ O	ND	ND	ND

3.2 Hasil Pengujian Zeta Potensial

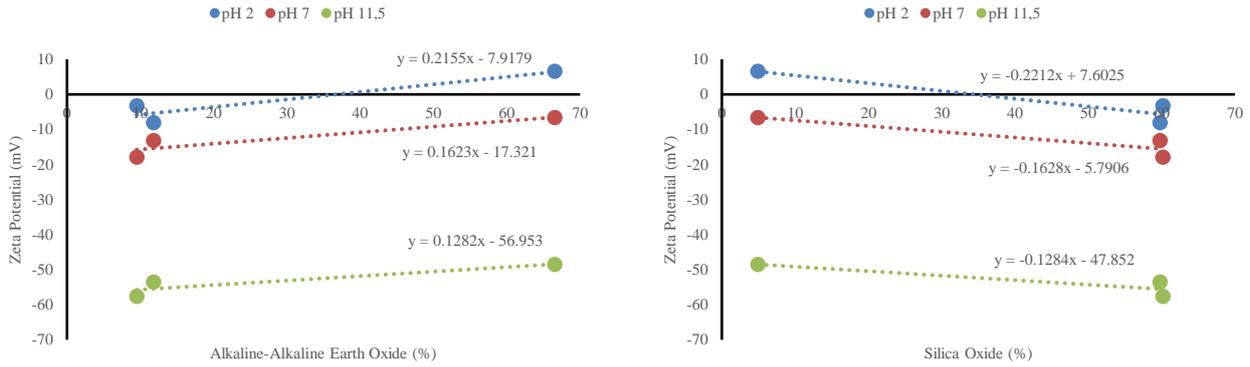
Hasil pengujian zeta potensial yang telah dilakukan akan disajikan dalam dua jenis sajian, yaitu nilai zeta potensial agregat dan zeta potensial emulsi. Agregat yang diuji cenderung mengalami perubahan nilai zeta potensial seiring berubahnya kondisi lingkungan sistem (dalam hal ini larutan pH sebagai pelarutnya). Nilai positif dalam zeta potensial menunjukkan bahwa agregat atau emulsi berpotensi bermuatan elektropositif pada kondisi sistem sekitar sesuai dengan pH larutannya. Sebaliknya, nilai negatif menunjukkan potensi muatan elektronegatif pada agregat atau emulsi. Dalam hal ini juga dapat diketahui bahwa kandungan alkali-alkali tanah oksida serta silika oksida memiliki pengaruh terhadap nilai zeta potensial yang dihasilkan. Semakin besar kandungan alkali-alkali tanah oksida dan silika oksida pada batuan akan cenderung berturut-turut bermuatan elektropositif dan elektronegatif. Hasil pengujian zeta potensial disajikan dalam Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 dan grafik hubungan alkali-alkali tanah oksida serta silika oksida dengan zeta potensial disajikan dalam Gambar 3.1. Gambar 3.2 menunjukkan bahwa zeta potensial masing-masing agregat akan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai pH sistem agregat tersebut berada.

Tabel 3.2 Hasil pengujian zeta potensial agregat.

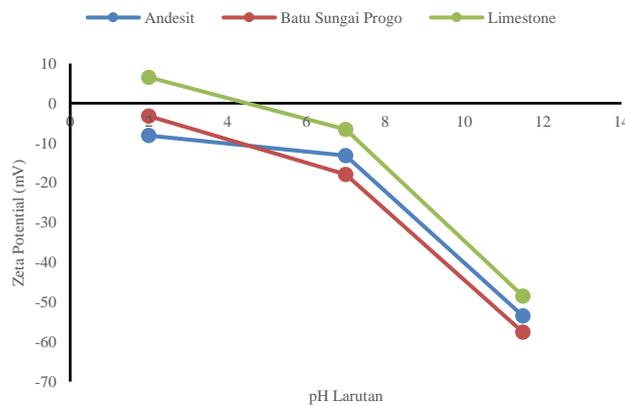
Jenis Agregat	Zeta Potensial (mV)		
	pH 2	pH 7	pH 11,5
Andesit	-8,1	-13,2	-53,5
Batu Sungai Progo	-3,2	-17,9	-57,6
<i>Limestone</i>	6,5	-6,6	-48,5

Tabel 3.3 Hasil pengujian zeta potensial emulsi.

Jenis Emulsi	Zeta Potensial (mV)
CRS-1	86,1
CRS-1P	79,4
SS-1h	-68,4



Gambar 3.1 Hubungan (a) Alkali-Alkali Tanah, (b) Silika oksida dengan nilai zeta potensial.



Gambar 3.2 Hubungan pH sistem dengan zeta potensial.

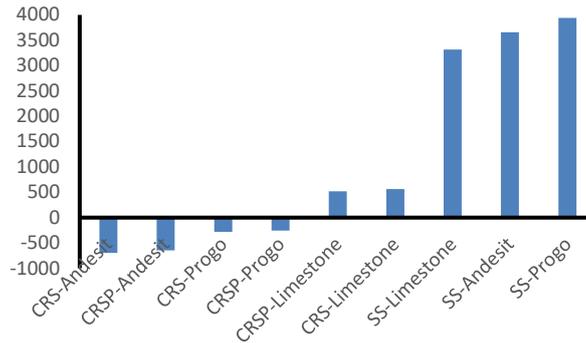
3.3 Interaksi Elektrostatis Agregat dan Emulsi

Interaksi elektrostatis antara agregat dengan emulsi dapat menjadi pendekatan indikator baik atau buruknya kuat geser yang akan terjadi ketika agregat dan emulsi tersebut bertemu. Interaksi elektrostatis dapat didekati dengan perkalian nilai zeta potensial emulsi dengan agregat. Nilai tersebut akan menunjukkan tingkat tarikan atau tolakan yang terjadi pada agregat dan emulsi (Lee dan Ahn, 2016). Hasil perkalian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Interaksi elektrostatis agregat dan emulsi.

	Zeta Potensial Agregat dan Emulsi (mV)		
	CRS-1	CRS-1P	SS-1h
Andesit	-700	-646	3659
Batu Sungai Progo	-278	-256	3940
Limestone	562	518	3317

Dalam penelitiannya, Lee dan Ahn (2016) juga menyatakan bahwa nilai positif dari hasil perkalian merepresentasikan interaksi tolak-menolak sedangkan nilai negatif adalah representasi dari interaksi tarik-menarik. Dari tabel tersebut diketahui bahwa Andesit dan Batu Sungai Progo akan memiliki interaksi tarik-menarik saat dipadukan dengan emulsi CRS-1 dan CRS-1P sehingga pada kondisi asam, sebaiknya dipilih agregat dengan kandungan silika oksida yang besar. *Limestone* berinteraksi tolak-menolak dengan CRS-1 dan CRS-1P dikarenakan memiliki muatan elektrik sejenis. Pada kondisi basa, semua agregat akan mengalami interaksi tolak-menolak sehingga sebaiknya dipilih batu *limestone* yang memiliki nilai interaksi yang terkecil. Apabila dilakukan pemeringkatan kombinasi agregat-emulsi maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.3. CRS, CRSP, dan SS merepresentasikan emulsi masing-masing CRS-1, CRS-1P, dan SS-1h



Gambar 3.3 Urutan nilai interaksi elektrostatis tiap kombinasi agregat-emulsi.

Penelitian di atas telah menunjukkan bahwa sangat penting untuk mengetahui pemilihan batuan agregat sebagai campuran aspal yang tepat bersamaan dengan penggunaan emulsi yang tepat pula. Hal ini sesuai dengan tujuan utama perkerasan untuk dapat bekerja secara monolitik dan salah satunya dapat menahan gaya geser. Untuk lebih lanjut memastikan pemilihan jenis agregat untuk masing-masing emulsi yang akan digunakan, disarankan untuk melakukan uji geser untuk masing-masing contoh sampel guna mengetahui hasil ISS masing-masing formasi campuran agregat aspal dengan aspal emulsi yang digunakan. Zeta potensial ini akan sangat dapat diandalkan untuk mengetahui muatan elektrik pada agregat dan emulsi untuk jenis yang lainnya sehingga dapat digunakan untuk mendukung pemilihan agregat dan emulsi yang tepat untuk konstruksi perkerasan.

4 KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis agregat memiliki persentase kandungan mineral yang berbeda, terutama alkali-alkali tanah oksida dan silika oksida yang menjadi indikator muatan elektrik pada agregat tersebut. Hal ini juga dikuatkan oleh pengujian zeta potensial di mana semakin besar kandungan alkali-alkali tanah oksida maka batuan akan cenderung bermuatan elektronegatif sedangkan semakin besar kandungan silika oksida maka batuan akan cenderung bermuatan elektropositif. Dalam pemilihan kombinasi agregat dan emulsi guna menghasilkan *Interface Shear Strength* yang baik, maka diperlukan pemilihan muatan elektrik yang berlawanan antara agregat dan emulsi sehingga menciptakan interaksi elektrostatis yang tarik-menarik. Interaksi tarik-menarik ini dipercaya akan menghasilkan kuat geser yang lebih optimal daripada formasi agregat dan emulsi yang menghasilkan interaksi tolak-menolak. Dengan adanya kuat geser yang lebih optimal, perkerasan akan dapat menjalankan sistemnya secara monolitik dan tercegah dari kegagalan-kegagalan prematur.

REFERENSI

- Asphalt Institute, 1997. *MS-19 A Basic Asphalt Emulsion Manual*. 3 ed. Lexington: Asphalt Institute.
- Bellanger, J. dan Duriez, M., 1957. La rupture des émulsions de bitume et l'adhévisité des résidus. *Rev. Générale des Routes des Aérodomes*, 41–55.
- Hefer, A. dan Little, D.N., 2005. Adhesion in bitumen–aggregate systems and quantification of the effects of water on the adhesive bond, 208.
- Lee, J. dan Ahn, H., 2016. Effect of electrical surface charge on seal coat curing and aggregate loss performance. *Journal of Testing and Evaluation*, 44 (4), 1661–1670.
- Mertens, E.W. dan Wright, J.R., 1959. Cationic Asphalt Emulsions: How They Differ from Conventional Emulsions in Theory and Practice. *Highway Research Board*, 386–397.
- Tashman, L., Nam, K., Papagiannakis, T., Willoughby, K., Pierce, L., dan Baker, T., 2008. Evaluation of Construction Practices That Influence the Bond Strength at the Interface between Pavement Layers. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 22 (3), 154–161.
- Wang, J., Xiao, F., Chen, Z., Li, X., dan Amirhanian, S., 2017. Application of tack coat in pavement engineering. *Construction and Building Materials*, 152, 856–871.
- White, G., 2017. State of the art: interface shear resistance of asphalt surface layers. *International Journal of Pavement Engineering*, 18 (10), 887–901.
- Yang, K. dan Li, R., 2021. Characterization of bonding property in asphalt pavement interlayer: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8 (3), 374–387.