

KORELASI NILAI MODULUS ELASTISITAS ANTARA ALAT LIGHT WEIGHT DEFLECTOMETER (LWD) DAN MARSHALL TEST CAMPURAN AC-WC

Lucky Caroles¹, Abdul Rachman Djamaluddin², A. Arwin Amiruddin³ dan Ardy Arsyad⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: pareausanrangan68@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: jamaluddinabdulrahman@yahoo.co.id

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: a.arwinamiruddin@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: ardyarsyad@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan korelasi antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat Marshall test dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat LWD versi laboratorium. Penelitian ini berupa uji eksperimental di laboratorium. Rancangan penelitian diaplikasikan pada campuran AC-WC dengan melakukan pengujian Marshall test dan LWD versi laboratorium. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah menemukan korelasi antara nilai modulus elastisitas campuran AC-WC dengan menggunakan alat Marshall test (Marshall quotient) dan LWD (modulus kekakuan).

Kata kunci: kondisi tegangan, Marshall test, LWD

PENDAHULUAN

Saat ini salah satu konsentrasi pembangunan fisik di bidang infrastruktur yang paling pesat adalah pembangunan jalan terutama jalan yang berstatus jalan nasional. Pemerintah pusat dalam program utamanya berusaha menghubungkan beberapa tempat ke tempat lain atau juga membuat jalan baru baik itu jalan biasa ataupun jalan tol dengan tujuan memperbaiki kelancaran arus barang dan manusia demi tercapainya percepatan dan pemerataan pembangunan.

Demi meningkatkan kualitas dan kuantitas jalan Nasional, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam 2 tahun terakhir telah melakukan suatu program kegiatan dengan judul Survey Kondisi Jalan jembatan dan Lereng dengan maksud memperoleh data real dan digunakan sebagai data base dalam hal pemograman kegiatan di lingkup Dirjen Bina Marga dan juga sebagai acuan dalam pembuatan program kerja jangka panjang dan jangka pendek.

Salah satu kegiatan survey tersebut adalah menyediakan data mengenai kondisi jalan real yang berada pada status jalan nasional dan jalan strategis nasional. Pengambilan data yang diperlukan adalah, kondisi permukaan (ketidakteraturan dengan menggunakan alat Roughness meter), survei inventarisasi (menggunakan cara manual atau juga dengan kamera mata garuda), survei *pavement condition* indeks atau survei kondisi jalan (bisa menggunakan peralatan kamera dan manual) dan survey lendutan sisa umur perkerasan dengan menggunakan alat Bankleman Beam atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD) atau bisa juga dengan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD).

Khusus mengenai pengambilan data sisa umur perkerasan ketiga peralatan tadi bisa digunakan asal sesuai dengan ketentuan dan kondisi area survei.

Prinsip kerja ketiga alat tersebut hampir sama yakni bagaimana memberi beban pada permukaan perkerasan dan diharapkan akan mendapatkan hasil berupa besarnya lendutan dan modulus pada permukaan sampai tanah dasar. Berdasarkan faktor kemudahan dan ekonomis dan kecepatan pengambilan data maka dari ketiga peralatan tersebut yang paling memungkinkan adalah alat LWD. Hal ini disebabkan karena alat tersebut lebih ringan, pengambilan sampel dilapangan juga lebih banyak, sampel dilapangan juga bisa langsung mendapatkan nilai lendutan dan modulus dan harganya relatif lebih murah.

Ketiga cara diatas semua dilakukan di lapangan namun untuk skala laboratorium saat ini kita mengenal beberapa cara untuk mendapatkan nilai modulus, bisa dengan cara analitis dan dengan cara uji langsung. Untuk uji langsung saat ini peralatan yang dapat mengeluarkan nilai modulus secara langsung pada perkerasan aspal hanyalah UMATTA, alat *Marshall test* juga dapat menghasilkan nilai modulus namun tidak secara langsung melainkan melalui proses perhitungan dari data yang ada yakni nilai stabilitas dan nilai flow.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*): Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*Marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2013).

Berbagai penelitian-penelitian terdahulu telah dilakukan dengan menggunakan alat LWD untuk menghitung nilai modulus pada perkerasan jalan. Mazari M. *et al.*, 2017 memperkenalkan teknologi *Intelligent Compaction* (IC) yang telah muncul selama satu dekade terakhir untuk mengevaluasi kekakuan lapisan perkerasan yang dipadatkan. Penerapan teknologi IC untuk memadatkan lapisan geomaterial yang tidak terikat telah dikombinasikan dengan perangkat *nondestructive testing* (NDT) untuk lebih memberikan karakteristik parameter kekakuan. Area yang diidentifikasi tidak terkoneksi dengan baik dalam melakukan *tes spot* NDT. Hubungan antara nilai-nilai kekakuan berbasis *accelerometer* dari rol dan hasil NDT dapat secara signifikan mempengaruhi interpretasi IC data yang dikumpulkan. Bagian dari situs konstruksi dipilih untuk mengevaluasi korelasi antara hasil dua uji spot NDT, uji beban plat (PLT) dan uji *Light Weight Deflectometer* (LWD) dengan data IC. Hasil penelitian ini merupakan suatu sistem penentuan posisi global dan pendekatan reduksi data. Perangkat LWD tampaknya menjadi perangkat yang tepat untuk memverifikasi area yang kurang kaku yang terdeteksi dari data IC.

Rahman F. *et al.*, 2007 membahas kekakuan tanah dasar yang diperoleh dari perangkat pemadatan baru yang disebut *Roller Intelligent Compaction* (IC) pada proyek tanggul jalan raya di Kansas. Tiga bagian uji pada dua rute dipadatkan menggunakan roller cerdas tunggal drum baja halus Bomag Variocontrol (BVC) yang memadatkan dan pada saat yang sama mengukur nilai kekakuan tanah yang dipadatkan. Pengukuran kontrol pemadatan tradisional seperti pengujian kepadatan, kadar air in-situ, pengukuran kekakuan tanah menggunakan Geogage, tes defleksi permukaan menggunakan *Light Falling Weight Deflectometer* (LFW) dan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dan tes penetrasi menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa IC roller mampu mengidentifikasi lokasi kekakuan tanah yang lebih rendah dalam arah spasial. Secara umum, kekakuan roller IC menunjukkan sensitif terhadap kadar kelembaban lapangan. Tidak ada korelasi universal yang diamati antara kekakuan roller IC,

kekakuan Geogage, modulus tanah tanah dasar yang dihitung ulang dari data defleksi LWD dan FWD dan *California Bearing Ratio* (CBR) yang diperoleh dari hasil pengujian DCP.

Sensoney C. T. *et al.*, 2012 menyajikan skema perhitungan kembali LWD untuk mengetahui parameter lapisan, termasuk ketebalan lapisan atas, dari sistem pekerjaan tanah dua lapis. Pendekatan dapat di selesaikan dengan menggunakan model elemen hingga dinamis (FE) untuk perhitungan data defleksi LWD, dan mengimplementasikan algoritma genetika (GA) sebagai solver. Fungsi objektif diformulasikan sebagai ukuran ketidaksesuaian data antara data yang diprediksi dan yang diamati, dinormalisasi oleh defleksi puncak, dan mencakup 180 titik data dari riwayat waktu defleksi dinamis. Fungsi objektif berisi beberapa lokal minimum yang berpotensi menjebak algoritma pencarian gradien, sehingga memvalidasi aplikasi GA sebagai teknik pencarian global untuk masalah ini. GA diterapkan untuk data sintetik dan eksperimental, dan menunjukkan bahwa ketebalan lapisan atas yang dianalisis, modulus lapisan atas dan modulus yang mendasari untuk data eksperimental dibandingkan dengan nilai yang diharapkan.

Tehrani F. S & Meehan C. L., 2010 mengeksplorasi sensitivitas hasil tes in-situ berbasis modulus yang diukur terhadap efek kadar air pemadatan, sebuah studi lapangan dilakukan di Negara Bagian Delaware pada musim panas 2008. Dua alat LWD digunakan dalam penelitian ini. untuk mengukur nilai modulus tanah yang dipadatkan, satu dengan diameter pelat kontak 300 mm dan satu dengan diameter pelat 200 mm. Bahan pengisi diuji selama penelitian ini adalah pasir dinilai buruk dengan lanau (SP-SM). Tujuan dari makalah ini adalah untuk menunjukkan sensitivitas nilai modulus tanah yang diukur terhadap fluktuasi kadar air tanah di lapangan, dan untuk mendiskusikan pendekatan yang mungkin untuk menafsirkan jenis data LWD variabel ini.

Tirado C. *et al.*, 2015 mengevaluasi kinerja LWD dalam berbagai kondisi pemuatan, ukuran pelat yang berbeda, dan beragam sifat geomaterial. Kedalaman pengaruh dianalisis dengan menggunakan kriteria tegangan dan regangan. Parameter model konstitutif nonlinier tampaknya memiliki pengaruh signifikan terhadap kedalaman pengaruh yang diukur dari kedua perangkat yang digunakan. Namun, sifat fungsional yang berbeda dari masing-masing perangkat ditemukan menjadi sumber variasi dalam hasil.

Buechler S. R. *et al.*, 2012 menggunakan metode elemen-diskrit (DEM) untuk menyelidiki hubungan antara sifat-sifat tanah dan respons mekanik untuk pelat (simulasi LWD) dan pemuatan drum-roller. Simulasi tanah granular yang murni tanpa kohesi ditunjukkan untuk menunjukkan medan tegangan dan regangan yang jauh berbeda dibandingkan dengan simulasi tanah kohesif. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan DEM untuk secara akurat memodelkan fitur-fitur makro dari variabel mikro dan interaksi. Perbandingan antara model elemen hingga dan prediksi dibuat untuk tanah dengan berbagai kemampuan untuk mengirimkan gaya tarik.

Kessler K., 2009 menguraikan asal-usul DCP untuk pengujian tanah dan aplikasi masing-masing untuk berbagai konfigurasi DCP. Berbagai jenis LWD dan hasil yang didapatkan dijelaskan yaitu upaya yang sedang berjalan dalam penggunaan instrumen ini serta standar untuk QC/QA (kontrol kualitas/jaminan kualitas) untuk tanah dasar dan dasar agregat untuk jalan.

Kongkitkul W. *et al.*, 2014 melakukan penelitian terhadap tanah lateritic yaitu tes pemadatan Proctor yang dimodifikasi untuk menentukan kadar air (opt w) yang optimal dan kepadatan kering maksimum yang sesuai), Uji California Bearing Ratio (CBR) pada spesimen yang disiapkan di opt w, tes kerucut pasir untuk menemukan kepadatan lapangan dan karenanya tingkat pemadatan (c D); dan tes LWD untuk menemukan kekakuan permukaan (LWD k). Sementara secara bertahap meningkatkan upaya pemadatan di lubang uji, kerucut pasir dan tes LWD dilakukan pada tanah yang dipadatkan. Ditemukan bahwa ada korelasi yang relevan antara cD dan% CBR dan LWD k. Ketika korelasi ini diketahui, uji LWD dapat menjadi alternatif untuk mengevaluasi cD dan% CBR secara tidak langsung untuk kontrol pemadatan.

Elhakim Amr. F. *et al.*, 2013 melakukan penelitian yaitu pertama, indeks sifat-sifat tanah dari tanah yang diuji termasuk distribusi ukuran butir; rasio void maksimum dan minimum dan gravitasi spesifik diperoleh. Analisis petrografi dari pasir yang diuji juga dilakukan untuk menentukan

komposisi mineraloginya. Ruang dengan luas 1-m² dibangun untuk melakukan pengujian LWD di laboratorium. Penelitian dilakukan untuk kerapatan relatif 20%, 40%, 60% dan 80% untuk mewakili perilaku pasir yang sangat longgar, longgar, padat dan padat. Efek dari keberadaan batas kaku di bawah tanah yang diuji pada hasil pengujian juga diselidiki untuk menentukan zona pengaruh deflectometer ringan.

Hariprasad C. *et al.*, 2016 menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD) sebagai perangkat kontrol kualitas untuk menilai kualitas lapisan perkerasan yang dipadatkan. Sebagai bagian dari penelitian ini, program pengujian lapangan LWD yang luas dilakukan di jalan bebas hambatan di sepanjang Outer Ring Road (ORR) yang berlokasi di Hyderabad, India, untuk menentukan modulus deformasi (ELWD) lapisan dasar dan permukaan perkerasan. ELWD lapisan dasar dan permukaan yang dipadatkan masing-masing berkisar antara 37,6 hingga 58,6 MPa, dan 89,3 hingga 125,7 MPa. Selain itu, studi kasus pada jalan volume rendah disajikan untuk menunjukkan hubungan antara ELWD dan kepadatan in situ yang diperoleh dari uji kerucut pasir. LWD ternyata mudah dioperasikan dan memberikan hasil tes cepat pada setiap lapisan trotoar. Oleh karena itu, frekuensi uji kontrol kualitas dapat ditingkatkan yang mengarah pada peningkatan kualitas keseluruhan lapisan perkerasan yang dipadatkan. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis alat LWD versi laboratorium dengan alat LWD versi lapangan yang saat ini dikembangkan oleh Bina Marga, Indonesia.
2. Menganalisis pengaruh kepadatan, kadar air dan kadar aspal campuran beraspal (AC-WC) terhadap nilai lendutan dan modulus elastisitas dengan menggunakan alat LWD versi laboratorium.
3. Menemukan korelasi antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat Marshall Test dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat LWD versi laboratorium.

TINJAUAN PUSTAKA

Isu Penggunaan Alat Light Weight Deflectometer (LWD) Untuk Memprediksi Umur Rencana Jalan

Ada beberapa sistem jaringan jalan, salah satunya yang sangat berperan penting adalah sistem jaringan jalan arteri primer yang merupakan jalan penghubung antar pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Jaringan jalan ini juga menjadi jalan yang melayani tulang punggung transportasi nasional, sehingga sangat perlu diperhatikan pemeliharannya agar menjaga kualitas layanan jalan serta tidak menjadi penghambat dalam kelancaran lalu lintas.

Kondisi jalan yang baik akan memudahkan mobilitas penduduk dalam melakukan aktivitas setiap hari. Jalan raya dengan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku yang baik, harus mempunyai kualitas demi kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Disamping itu perkerasan jalan raya harus mempunyai ketahanan terhadap pengikisan akibat beban lalu lintas, perubahan cuaca dan pengaruh buruk lainnya serta memiliki umur layanan jalan yang ideal. Sesuai Manual Pemeliharaan Jalan No : 03/MN/B/1983 kerusakan jalan dikelompokkan menjadi; (1) Retak (*cracking*), (2) Distorsi, (3) Cacat Permukaan, (4) Pengausan, (5) Kegemukan (*bleeding*), (6) Penurunan pada bekas penanaman utilitas. Pada umumnya kerusakan yang terjadi merupakan gabungan dari berbagai jenis kerusakan sebagai akibat dari berbagai faktor yang saling terkait.

Kepadatan, lendutan dan elastisitas dari setiap lapisan tanah dasar, lapis pondasi (*base layer*) hingga lapisan campuran aspal merupakan parameter yang penting untuk mendisain suatu konstruksi jalan. Pengujian-pengujian konvensional yang biasanya dilakukan untuk evaluasi dan monitoring jalan tanpa penutup adalah antara lain *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), CBR langsung, *Plate Bearing Test*, dll. Salah satu alat untuk menguji dan menganalisa lendutan dan elastisitas pada tanah, lapisan pondasi dan lapisan campuran aspal adalah LWD (*Light-Weight Deflectometer*). Ali Ebrahimi dan Tuncer B.E. 2011. menggunakan alat LWD (*Light-Weight Deflectometer*) untuk menganalisa lendutan dan resilient modulus dari tanah dasar yang dilapisi berbagai macam material permukaan yaitu material daur ulang dari aspal dan yang distabilisasi dengan agregat alam konvensional. Ch.

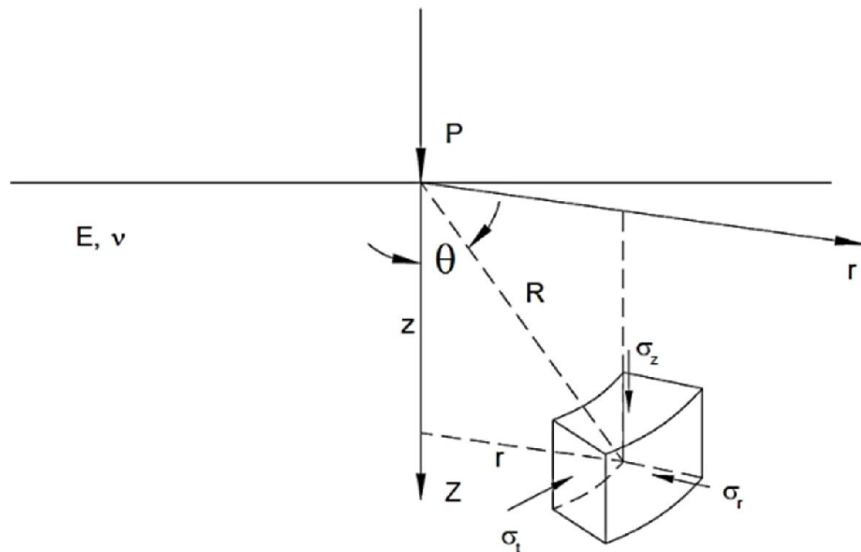
Nageshwar Rao dkk 2008, menggunakan LWD untuk menguji elastisitas tanah laterit yang telah dikupas permukaannya sedalam 30 cm. Elastisitas tanah laterit berdasarkan alat LWD adalah antara 25 MPa hingga 200 MPa.

Dalam penelitian ini untuk mengetahui bagaimana tingkat kerusakan yang terjadi pada lokasi penelitian diatas berdasarkan umur rencana, maka perlu dilakukan pengamatan secara visual kemudian dilakukan analisis indeks kondisi perkerasan yaitu tingkatan dari kondisi permukaan perkerasan yang terjadi. Analisis indeks kondisi perkerasan dilakukan dengan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada ruas tersebut.

Hal penting dalam pengelolaan sistem perkerasan jalan adalah kemampuan dalam menentukan gambaran kondisinya saat sekarang dari suatu jaringan jalan, dan memperkirakan kondisinya di masa datang. Untuk memprediksi kondisi perkerasan dengan baik, maka suatu metode penilaian untuk identifikasi harus digunakan. Sistem ini merupakan alat bagi personil penilai dalam melakukan penilaian kerusakan perkerasan. Sistem atau metode penilaian kondisi perkerasan yang terdiri dari Metode Dirgolaksono Mochtar dan metode Bina Marga. Metode ini sering digunakan untuk menilai kondisi perkerasan jalan. Namun pada saat ini, biasa digunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi pada perkerasan jalan.

Tegangan Pada Subgrade Jalan

Boussinesq merupakan orang pertama yang menguji respon perkerasan terhadap beban. Serangkaian persamaan dibuat oleh Boussinesq untuk menentukan tegangan, regangan dan deformasi dalam media yang bersifat homogen, isotropik, elastis linier dengan modulus elastisitas (E), dan poisson ratio (μ) sebagai akibat dari beban terpusat statis pada permukaan perkerasan (Tu, W., 2007). Gambar 1 memperlihatkan notasi sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq dimana z adalah kedalaman dan r adalah jarak radial dari beban terpusat.



Gambar 1. Sistem sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq (Tu, W, 2007)

Beberapa persamaan Boussinesq ditunjukkan pada persamaan di bawah ini, dimana:

$$R = \sqrt{z^2 + r^2} \quad (1)$$

Tegangan normal :

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^3 \theta \quad (2)$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left[3\cos\theta \sin^2\theta - \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \quad (3)$$

$$\sigma_t = \frac{(1-2\mu)P}{2\pi R^2} \left[-\cos\theta + \frac{1}{1+\cos\theta} \right] \quad (4)$$

Tegangan geser :

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^2\theta \sin\theta \quad (5)$$

$$\tau_{rt} = 0 \quad (6)$$

$$\tau_{tz} = 0 \quad (7)$$

Regangan normal :

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} [3\cos^3\theta - 2\mu\cos\theta] \quad (8)$$

$$\varepsilon_r = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} \left[-3\cos^3\theta + (3-2\mu)\cos\theta - \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \quad (9)$$

$$\varepsilon_t = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} \left[-\cos\theta + \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \quad (10)$$

Displacements :

$$dz = \frac{(1+\mu)P}{2\pi RE} [2(1-\mu) + \cos^2\theta] \quad (11)$$

$$dr = \frac{(1+\mu)P}{2\pi RE} \left[\cos\theta \sin\theta - \frac{(1-2\mu)\sin\theta}{1+\cos\theta} \right] \quad (12)$$

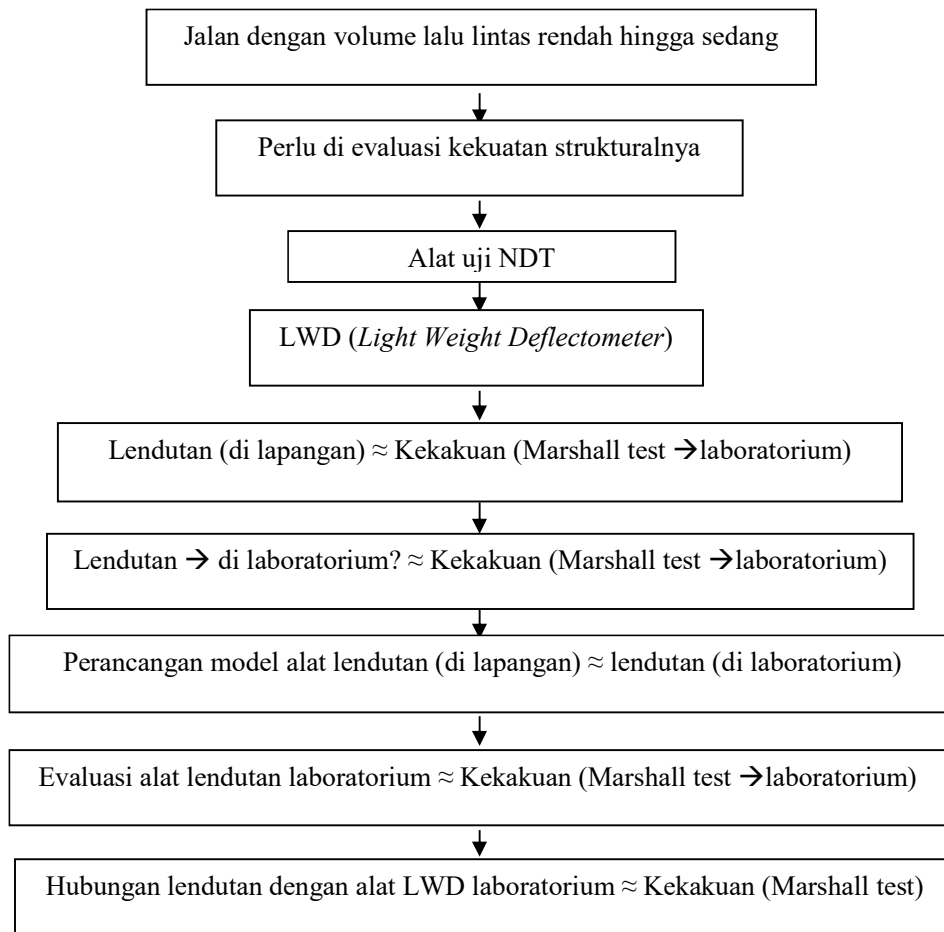
$$dt = 0 \quad (13)$$

Sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan di atas, modulus elastisitas tidak memiliki pengaruh pada tegangan dan regangan normal serta tegangan geser. persamaan Boussinesq awalnya dikembangkan untuk beban statik terpusat dan selanjutnya persamaan Boussinesq dikembangkan oleh para peneliti dengan beban terbagi rata.

Yoder dan Witczak (1975) menyarankan bahwa teori Boussinesq dapat digunakan untuk memperkirakan tegangan, regangan dan lendutan pada subgrade ketika modulus pada lapis pondasi (*base*) hampir sama dengan nilai modulus subgrade. Modulus permukaan perkerasan dihitung dengan menggunakan pengukuran lendutan permukaan berdasarkan persamaan Boussinesq, persamaannya dapat digunakan sebagai sebuah indikator menyeluruh dari kekakuan perkerasan (Ullidtz, 1998).

Kerangka Pikir Penelitian

Pemodelan alat LWD laboratorium dilakukan berdasarkan konsep-konsep dari alat LWD lapangan yang disederhanakan sehingga bisa digunakan di laboratorium dan hasil yang didapatkan sama dengan alat LWD lapangan. Dengan menggunakan data lendutan, yang biasanya disebut dengan mangkuk defleksi (*deflection bowl*), kekakuan lapisan pembentuk perkerasan dapat ditentukan dari hitungan balik, yaitu dengan menggunakan program-program komputer. Gambar 2 memperlihatkan kerangka pikir penelitian ini.



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan Oktober 2019.

Instrumen Penelitian

Pada dasarnya prinsip kerja dari alat LWD laboratorium sama dengan alat LWD di lapangan yakni suatu peralatan yang dapat mengukur nilai lendutan dan modulus elastisitas melalui impuls beban yang timbul akibat beban dengan berat tertentu yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu di permukaan pelat dengan luas tertentu pada permukaan perkerasan yang akan menimbulkan defleksi yang diukur menggunakan alat sensor perpindahan letak (displacement sensor). Perbedaan terletak pada sensor yang digunakan. Pada LWD lapangan, sensor yang dipakai adalah geofone sedangkan pada LWD laboratorium menggunakan accelerometer tipe *MEMS Accelerometer*. Untuk mengevaluasi alat LWD yang dihasilkan maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji Marshall dengan menggunakan campuran AC-WC.

Metode Analisis Data

Analisis data dengan menggunakan alat lwd laboratorium prinsipnya sama dengan analisis data dengan menggunakan alat lwd lapangan yaitu dengan sistem komputerisasi. berdasarkan elastis bousinesq, hubungan antara tekanan dan perpindahan yang diterapkan di dalam tanah untuk kasus

basa kaku atau fleksibel yang terletak pada ruang setengah elastis dapat diturunkan seperti pada persamaan 14.

$$E = \frac{(1 - \nu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \times f \quad (14)$$

Dimana:

- E = modulus elastisitas (MPa)
- d0 = penurunan yang diukur (mm)
- ν = Rasio Poisson
- σ_0 = tegangan terapan (MPa)
- a = jari-jari pelat (mm)
- f = faktor bentuk tergantung pada distribusi tegangan

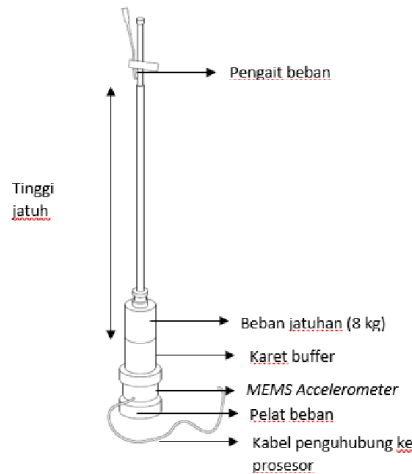
Selanjutnya jika hasil pengujian lendutan dari campuran AC-WC telah didapatkan dari pengujian LWD laboratorium maka selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan alat Marshall untuk mendapatkan nilai karakteristik Marshall yang terdiri dari nilai stabilitas, flow, Marshall quotient, VIM, VMA dan VFB. Marshall quotient merupakan hasil bagi Marshall yang menunjukkan nilai kekakuan (elastisitas/fleksibilitas) dari campuran beraspal.

Kedua parameter inilah yaitu lendutan dari hasil pengujian LWD laboratorium dan Marshall quotient dari hasil pengujian Marshall test yang selanjutnya dibuatkan hubungan korelasi yang menunjukkan keterikatan antara keduanya. Gambar 3 memperlihatkan sketsa alat LWD laboratorium yang dibuat dengan menyederhanakan alat LWD lapangan. Gambar 4 memperlihatkan proses pengujian dengan menggunakan alat LWD laboratorium dengan sistem komputerisasi yang terhubung dengan suatu prosesor untuk membaca beban impact yang diberikan oleh perkerasan.

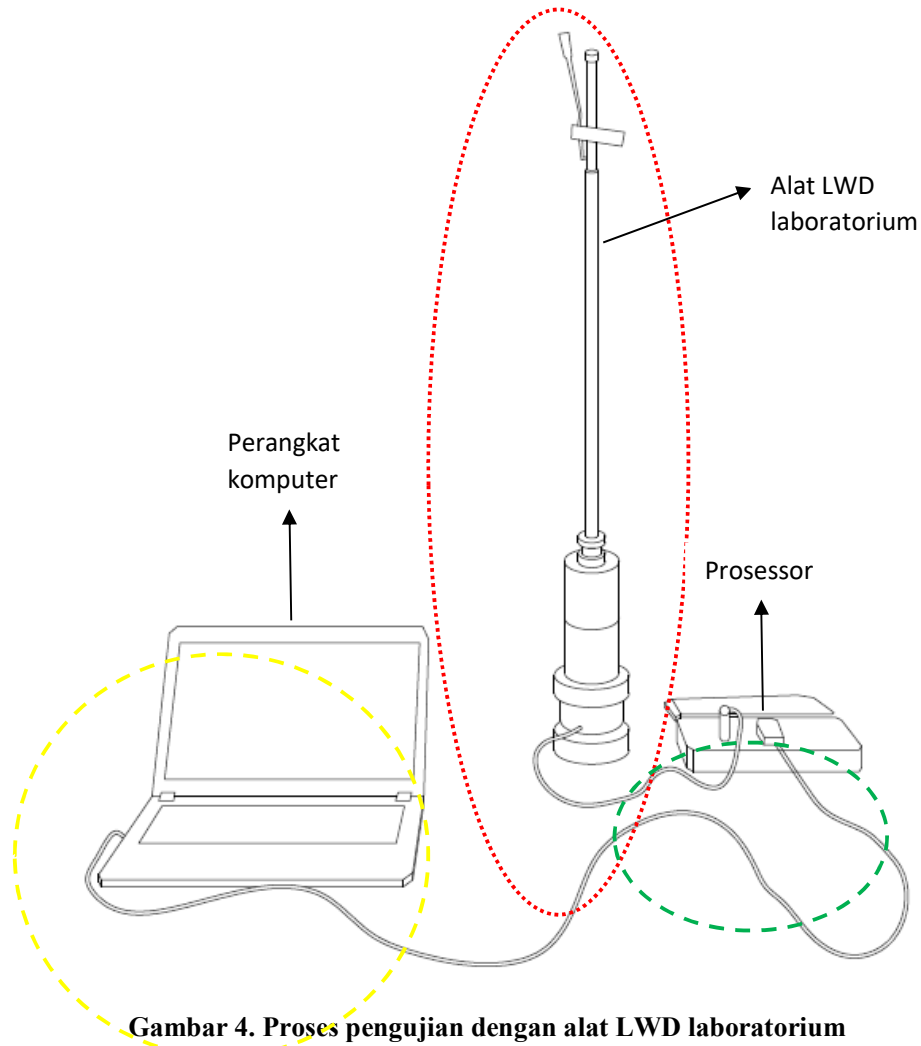
Proses pengujian modulus dengan menggunakan alat LWD laboratorium yang diperlihatkan pada Gambar 4 dimulai dengan pemberian beban kepada sampel penelitian yang akan terbaca sebagai lendutan pada *MEMS Accelerometer* yang diteruskan ke prosesor dan terbaca sebagai D0 (lendutan) pada software di komputer. Modulus permukaan (modulus lapisan permukaan) adalah dihitung dari defleksi permukaan menggunakan persamaan Boussinesq:

$$E_0(0) = 2(1 - \mu^2) \sigma_0 a / D(0) \quad (15)$$

$$E_0(r) = (1 - \mu^2) \sigma_0 a^2 / (r D(r)) \quad (16)$$



Gambar 3. Komponen-komponen alat LWD laboratorium



Gambar 4. Proses pengujian dengan alat LWD laboratorium

Dalam kasus Zorn LWDs, gaya yang diterapkan dari massa jatuh diukur di laboratorium dan digunakan untuk semua perhitungan modulus permukaan untuk alat LWD. Persamaan 17 dapat digunakan untuk memperkirakan beban yang diterapkan untuk Zorn LWDs.

$$F_z = \sqrt{2 \times m \times g \times h \times k} \quad (17)$$

Dimana :

- F_z = Estimasi besarnya gaya (N)
- m = Massa beban dari alat LWD (kg)
- g = Besarnya percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- h = Tinggi jatuh beban dari alat LWD (m)
- k = Konstanta karet buffer (362396,2 N/m)

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Membuat alat pengujian modulus elastisitas yang sederhana, murah dan portable yakni *Light Weight Deflectometer* (LWD) laboratorium/mini LWD.
2. Mendapatkan hubungan antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat Marshall Test dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat LWD versi laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Ebrahimi dan Tuncer B.E. 2011. Light-weight Deflectometer for Mechanistic Quality Control of Base Course Materials, ice proceedings, pp : 1-10.
- Amr F. Elhakim, Khaled Elbaz, dan Mohamed I. Amer. 2013. The Use of Light Weight Deflectometer for In Situ Evaluation of Sand Degree of Compaction, Volume 10 Issue 3, pp : 298-307.
- Buechler, Scott. R., et. al. 2012. *Understanding the Soil Contact Problem for the LWD and Static Drum Roller by Using the DEM*. ASCE : 2012.
- Ch. Nageshwar Rao, Varghese George, and R. Shivashankar, PFWD, CBR and DCP Evaluation of Lateritic Subgrades of Dakshina Kannada, India, 2008, The 12 th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) 1-6 October, Goa, India, pp. 441-4423. Civil Engineers (ASCE).
- Hariprasada, C., et. al. 2016. *Light Weight Deflectometer for Compaction Quality Control*. Indian Geotechnical Conference IGC 2016. Chennai.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Kessler, K. 2009. *Use of DCP (Dynamic Cone Penetrometer) and LWD (Light Weight Deflectometer) for QC/QA on Subgrade and Aggregate Base*. GeoHunan International Conference 2009.
- Kongkitkul, W., et. al. 2014. *Correlations between the Surface Stiffness Evaluated by Light-Weight Deflectometer and Degree of Compaction*. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.
- Mazari, Mehran, et. al. 2017. *Evaluating Stiffness Parameters of Unbound Geomaterial Layers Using Intelligent Compaction, Plate Load Test, and Light Weight Deflectometer*. Dept. of Civil Engineering, California State Univ. Los Angeles, Los Angeles, CA.
- Nils Ryden dan Michael A. Mooney, Analysis of surface waves from the light weight deflectometer, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 29 (2009), pp. 1134–1142.
- Pd 03-2016-B. Pedomana Metoda Uji Lendutan Menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rahman, Farhana, et. al. 2007. *Intelligent Compaction Control of Highway Embankment Soil*. Kansas State University Department of Civil Engineering, Manhattan.
- Senseney, C. T., et. al. 2012. *Genetic Algorithm to Optimize Layer Parameters in Light Weight Deflectometer Backcalculation*. International Journal of Geomechanics.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2489-1991. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Indonesia : Standar Nasional Indonesia.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015.
- Tehrani, Faraz S., Christopher L. Meehan. 2010. *The Effect of Water Content on Light Weight Deflectometer Measurements*. Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE.
- Tirado, C., et. al. 2015. *Evaluating Influence Depth of Light Weight Deflectometer through Finite Element Modeling*. Airfield and Highway Pavements. Center for Transportation Infrastructure Systems (CTIS), University of Texas at El Paso, Texas.
- Yoder, El dan Witczak. MW, (1975), *Principles of Pavement Design*, 2nd Edition John Wiley & Sons Inc. Canada.