

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infrastruktur jalan sebagai bagian dari suatu sistem transportasi diharapkan dapat menciptakan dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Di Indonesia, infrastruktur jalan berperan sangat strategis dalam melayani sekitar 92% angkutan penumpang dan 90% angkutan barang pada seluruh jaringan jalan yang ada (Bina Marga, 2009). Saat ini total nilai kapitalisasi aset infrastruktur jalan telah melebihi dua ratus triliun rupiah, apabila infrastruktur jalan terus ditingkatkan baik dari segi struktur maupun jaringannya, maka jalan akan menjadi salah satu faktor yang memberikan pengaruh positif bagi pembangunan ekonomi nasional, terutama berkaitan dengan Produk Domestik Bruto (PDB). Namun demikian, saat ini pembangunan infrastruktur jalan menghadapi berbagai tantangan antara lain dari segi ekonomi, teknik dan lingkungan hidup.

Dalam bidang ekonomi, sejak adanya krisis ekonomi global dan kenaikan harga bahan bakar minyak yang berdampak pada mata rantai produksi dan distribusi barang karena adanya fluktuasi harga, menyebabkan lingkungan investasi termasuk investasi pada infrastruktur jalan menjadi tidak pasti. Disamping itu adanya keterbatasan anggaran karena krisis moneter serta tingginya persaingan dan tuntutan kebutuhan infrastruktur yang lain, menuntut adanya efektifitas dan efisiensi penggunaan anggaran dalam sistem pembiayaan dan pola investasi di bidang jalan. Dari segi teknik konstruksi perkerasan jalan, dimana tercatat total panjang jaringan jalan yang ada di seluruh Indonesia sekarang ini adalah berjumlah 372.236 km, dan dari jumlah ini tercatat 56,43% dalam keadaan buruk dan sangat buruk (Bina Marga, 2009). Jika dihitung kerusakan rata-rata pertahun, maka kerusakan jalan yang terjadi setiap tahun adalah 27,2% dari total panjang jalan yang ada, atau berjumlah 100.491,57 km panjang jalan. Apabila dalam 1 km panjang jalan dibutuhkan 96,6 m³ aspal dan 1.513 m³ agregat, maka untuk kebutuhan perbaikan jalan sepanjang 100.491,57 km akan membutuhkan 9.707,5 m³ aspal dan 152.043,7 m³ agregat. Kebutuhan ini hanya untuk rehabilitasi atau perbaikan jalan selama satu tahun, jika perbaikan yang mendasar tidak dilakukan maka kerusakan perkerasan jalan akan semakin parah.

Selain masalah teknik dan ekonomi, masalah lingkungan hidup berhubungan dengan teknologi yang dipakai dalam konstruksi perkerasan jalan, yang mengakibatkan polusi udara dan degradasi lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang cukup besar dan berakibat pada pembentukan efek rumah kaca, juga menjadi kendala dan perlu mendapat

perhatian. Pengadaan material alamiah berupa aspal dan agregat yang tidak kurang menghasilkan polusi dan konsumsi energi karena proses pengolahan dan pengangkutan dari tempat pengolahan ke lapangan, dan sebaliknya dari lapangan ke tempat pengolahan (Schiavi et al., 2007), serta keberadaan sumber daya alam minyak bumi yang bersifat tidak dapat diperbaharui (*non renewable*), pada suatu saat akan habis (TMS, 2009). Di sisi lain, kandungan aspal dan agregat pada perkerasan jalan lama jika dibongkar dan tidak digunakan lagi akan menghasilkan material buangan yang cukup besar. Adanya kendala-kendala tersebut di atas, mengharuskan para peneliti dan praktisi rekayasa jalan untuk mencari material baru serta mengembangkan teknologi perkerasan jalan yang lebih handal secara teknik, murah serta ramah lingkungan.

1.1.1. Teknologi Daur Ulang Perkerasan Jalan

Teknologi daur ulang (*Recycling Technology*) perkerasan jalan adalah teknologi yang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan kelangkaan material aspal maupun agregat juga untuk mengatasi menumpuknya sampah padat yang dihasilkan dari pembongkaran perkerasan jalan yang sudah rusak (Halsted, 2007). Daur ulang lapis perkerasan jalan adalah membongkar dan menggunakan kembali lapis perkerasan jalan yang mengandung agregat dan aspal yaitu *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dan lapis perkerasan yang tidak mengandung aspal *Reclaimed Aggregate Mineral* (RAM) atau kombinasi kedua material tersebut dengan atau tanpa penambahan agregat baru dan bahan stabilisasi, untuk diaplikasikan kembali sebagai lapis perkerasan jalan.

Teknologi ini disamping hemat biaya karena sebagian besar material yang digunakan adalah berasal dari material bekas konstruksi perkerasan jalan yang sudah ada namun telah mengalami kerusakan, sehingga ada penghematan yang signifikan dari biaya pengadaan dan pengangkutan material, juga waktu pelaksanaan pekerjaannya relatif singkat. Disamping itu, teknologi ini adalah teknologi yang ramah lingkungan karena mengkonsumsi bahan bakar relatif sedikit dibandingkan penggunaan bahan bakar pada campuran perkerasan konvensional, juga dapat mengurangi adanya tumpukan material buangan yang berasal dari perkerasan jalan yang sudah rusak serta meminimalkan adanya daerah *quarry* karena berkurangnya penggunaan material agregat baru.

Sekarang ini, teknologi daur ulang perkerasan jalan sebagai teknologi alternatif konstruksi perkerasan jalan telah berkembang cukup pesat seiring dengan berkembangnya teknologi peralatan untuk itu. Ada beberapa metode daur ulang yang tersedia dengan kelebihan dan kekurangannya, yang dapat dipilih untuk digunakan berdasarkan kebutuhan dan kondisi di lapangan yaitu:

- 1) Teknik daur ulang berdasarkan pelaksanaan: Pelaksanaan di lapangan (*In Place*) dan Pelaksanaan di depot tempat pencampuran (*In Plant*).
- 2) Teknik daur ulang berdasarkan cara pencampuran: Daur ulang campuran dingin (*Cold Recycling*) dan Daur ulang campuran panas (*Hot Recycling*).

Penelitian yang sudah dilakukan di waktu yang lalu terhadap beberapa proyek konstruksi perkerasan jalan, yang menggunakan teknologi daur ulang, menunjukkan keuntungan dalam beberapa hal (Goodsall, 1981; Seals dan Metcalf, 1998; AASHTO-AGC-ARTBA joint comittee, 1998; Halsted, G.E., 2007; ACPA, 2009; Deniz et al., 2009; Yuan et al., 2010; Nantung et al., 2011):

- 1) Penghematan biaya konstruksi karena adanya penghematan pengadaan dan transportasi material baru.
- 2) Penghematan energi dalam memproduksi, menggunakan dan mengolah material baru.
- 3) Mengurangi adanya material buangan.
- 4) Penghematan waktu pelaksanaan proyek.
- 5) Mengurangi kemacetan lalu-lintas dibandingkan dengan teknik konstruksi perkerasan jalan cara konvensional.
- 6) Mengurangi pengaruh buruk terhadap lingkungan dengan melaksanakan konservasi alam.

Mengingat besarnya anggaran yang dibutuhkan dalam pembangunan infrastruktur jalan serta adanya berbagai kendala berupa keterbatasan anggaran dan mudahnya terjadi kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan, maka pengembangan teknologi ini perlu terus ditingkatkan dan disempurnakan. Disamping itu, meningkatnya kesadaran akan kelestarian lingkungan alam serta terbatasnya ketersediaan material alami, telah mendorong para praktisi dan peneliti rekayasa jalan untuk terus mencari material baru serta mengembangkan teknologi konstruksi perkerasan jalan yang ramah lingkungan dan dapat mengatasi kelangkaan tersedianya material alami.

Adanya beberapa kelemahan dari teknik konstruksi daur ulang yang ada sekarang ini, perlu terus diperbaiki agar dapat menjadi teknologi yang handal ditinjau dari kinerja strukturalnya, maupun dalam rangka mempertahankan kelestarian lingkungan alam serta penghematan penggunaan energi dan material alami. Teknik daur ulang perkerasan jalan tidak dapat dianggap sebagai teknologi yang ramah lingkungan jika tidak memenuhi aspek-aspek yang disebutkan di bawah ini (Fwa., 2010) :

- 1) Mengurangi polusi lingkungan, baik yang berupa polusi udara dan polusi buangan padat (material bekas)
- 2) Mengurangi emisi gas buangan yang berakibat pada efek rumah kaca

- 3) Menggunakan energi yang dapat diperbaharui
- 4) Menggunakan material konstruksi yang dapat didaur ulang

Untuk itu teknik daur ulang campuran dingin (*Cold Mix*) dan campuran RAP dengan *Warm Mix Asphalt* adalah teknik daur ulang yang dianjurkan, karena keunggulannya ditinjau dari aspek efisiensi anggaran dan kelestarian lingkungan alam dibandingkan teknik daur ulang campuran panas (*Hot Mix*) dan teknik campuran aspal panas konvensional (*Conventional central plant asphalt hot mix construction*). Penggunaan teknologi yang berpotensi pada pengurangan polusi udara, buangan gas emisi yang mengakibatkan efek rumah kaca dan hemat energi serta hemat penggunaan material, adalah teknologi yang tepat sebagai bentuk kepedulian kita terhadap kelestarian lingkungan alam.

Tabel 1.1. menunjukkan perbandingan dari berbagai metode konstruksi perkerasan jalan yang menggunakan teknik daur ulang, dibandingkan dengan teknik campuran aspal panas konvensional dalam hal konsumsi energi, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Chappat and Bilal, 2003 (Chappat and Bilal, 2003 dalam Fwa, 2010).

Tabel 1.1. Perbandingan konsumsi energi dari berbagai metode konstruksi daur ulang (Chappat and Bilal, 2003)

Metode Konstruksi	Rasio Energi
Campuran Aspal Panas Konvensional	1.00
Daur Ulang Campuran Panas dengan 20% RAP	0.79
Daur Ulang Campuran Dingin di Depot Pencampuran	0.67
Daur Ulang Campuran Panas di Tempat Pelaksanaan	0.84
Daur Ulang Campuran Dingin Aspal Emulsi di Tempat pelaksanaan	0.20

Rasio energi adalah perbandingan konsumsi energi dari berbagai metode konstruksi daur ulang, dibandingkan dengan metode konstruksi konvensional *Central plant asphalt hot mix* sebagai standar. Data ini menunjukkan bahwa teknik konstruksi perkerasan jalan yang ramah lingkungan adalah teknik konstruksi campuran dingin yang dilaksanakan langsung di lapangan (*Cold in-place recycling*), karena polusi lingkungan dan emisi gas buangan dapat dikurangi melalui pengurangan penggunaan energi dan bahan bakar. Namun demikian, terbatasnya kinerja struktural jangka panjang (kekuatan, kekakuan dan durabilitas) dari perkerasan jenis ini, serta berbagai kendala seperti tidak meratanya karakteristik material daur ulang, membatasi penggunaan metode ini untuk diaplikasikan pada konstruksi perkerasan jalan (Guthrie et al., 2007; Carter and Stroup-Gardiner, 2007; Hoyos et al., 2011; Puppala et al., 2011).

Salah satu teknik daur ulang yang selama ini sudah dikembangkan dan diaplikasikan untuk lapis pondasi adalah teknik daur ulang yang distabilisasi dengan semen atau yang dikenal dengan *Cement Treated Recycled Base* (CTRB), yakni teknik daur ulang dengan mencampur material perkerasan lama hasil garukan yaitu *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dan atau *Reclaimed Aggregate Mineral* (RAM) dengan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan stabilisasi dan dilaksanakan langsung di tempat pelaksanaan. Penambahan semen pada campuran CTRB akan meningkatkan kekuatan dan kekakuan campuran serta daya tahan terhadap pengaruh kelembaban sehingga mencapai kekuatan sebagaimana yang disyaratkan AASHTO untuk campuran lapis pondasi (Puppala et al., 2011) dan *Full-Depth reclamation* untuk rehabilitasi jalan lama (Harrington et al., 2011; Nantung et al., 2011). Namun demikian, teknik ini mempunyai kelemahan yaitu bersifat mudah retak sebagaimana sifat campuran semen pada umumnya.

Penambahan semen dalam campuran akan menambah kekakuan campuran dan bertambahnya kekakuan akan mengakibatkan berkurangnya kelenturan, sehingga mengakibatkan material ini semakin mudah retak (Wirtgen, 2004; Guthrie et al., 2002). Disamping itu, singkatnya waktu antara pencampuran dan pemadatan sangat berpengaruh pada kepadatan maksimum yang bisa dicapai. Pada beberapa ruas jalan, sebagai contoh, retak akibat adanya susut pada lapis pondasi yang distabilisasi dengan semen menjalar hingga ke lapisan permukaan dengan lebar retak antara 3 ft hingga 60 ft (Scullion et al., 2000). Sekalipun retak tersebut tidak mengakibatkan masalah struktural pada perkerasan jalan, namun demikian adanya retak pada badan jalan akan memungkinkan air dan lumpur menyusup ke badan jalan, sehingga konstruksi perkerasan menjadi lembab dan mempengaruhi daya dukung lapis perkerasan (Scullion et al., 1998). Sekalipun Departemen Transportasi Negara Bagian Texas (TxDOT) telah mengkonstruksi begitu banyak panjang jalan menggunakan teknik ini dengan kekuatan 700 psi, namun kinerja perkerasan berhubungan dengan adanya retak yang terjadi pada lapis perkerasan mengakibatkan beberapa daerah di Texas meninggalkan penggunaan teknologi ini untuk diaplikasikan pada konstruksi jalan, terkecuali menggunakan semen yang dikombinasikan dengan kapur atau *fly ash* (Scullion et al., 2000; Guthrie et al., 2002).

Disamping itu, adanya pertimbangan-pertimbangan tentang kelestarian lingkungan mengharuskan adanya perubahan total mengenai cara pandang dalam menggunakan material semen untuk kebutuhan pembangunan struktur konstruksi, yaitu dengan cara mengembangkan material dan model konstruksi yang secara drastis dapat mengurangi jumlah penggunaan material semen tanpa mengakibatkan pengurangan kinerja struktural (Bentur, 2002). Untuk itu perlu adanya inovasi baru baik dalam kriteria desain campuran

serta penggunaan material substitusi dan teknik pencampuran serta pemadatan yang tepat agar pemanfaatan teknologi ini dapat mencapai kinerja struktural yang optimal.

1.1.2. Material Pozolan Dalam Campuran Semen

Penambahan material pozolan dalam campuran semen, berpengaruh positif pada sifat fisik dan kinerja struktural dari campuran semen. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya terhadap material campuran semen (Arora and Aydilek, 2005; Potturi, 2006; Monkman and Shao, 2006; Sengul and Tasdemir, 2009; Jongpradist et al., 2010; Indrawati and Manaf, 2011) baik untuk campuran stabilisasi tanah maupun untuk campuran lapis pondasi perkerasan jalan dan campuran beton, menunjukkan bahwa penambahan material pozolan seperti *fly ash*, *slag*, *rice husk ash* dan *palm oil fuel ash* mengakibatkan peningkatan pada sifat mekanis campuran serta kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Beberapa material yang bersifat semen yang sering digunakan sebagai material stabilisasi (*stabilizing agent*) adalah: Semen, kapur, material pozolan berupa *fly ash*, *silica fume*, terak dan material pozolan yang lain (ACPA, 2009; Kim et al., 2009; Osman and Al-Tabbaa, 2009; Sujivorakul et al., 2011). Material pozolan adalah mineral tambahan untuk campuran semen dan digunakan sebagai bahan stabilisasi (*Cementitious Stabilising Agent*). Penggunaan material pozolan juga dapat mengurangi penggunaan semen dalam campuran yang pada akhirnya menjadikan campuran yang distabilisasi dengan semen lebih kuat dan tahan lama, ramah lingkungan serta efisien, karena menggunakan material alami yang mudah didapat. Namun demikian, pemanfaatan material pozolan alam sebagai substitusi parsial dari semen untuk campuran daur ulang lapis perkerasan jalan yang distabilisasi dengan semen belum pernah dilakukan.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya (Monkman and Shao, 2006; Sengul and Tasdemir, 2009; Osman and Tabbaa, 2009; Jongpradist et al., 2010; Indrawati and Manaf, 2011; Brooks et al., 2011), tercatat beberapa keuntungan dari adanya penambahan material pozolan dalam campuran semen yaitu antara lain:

- 1) Campuran lebih tahan terhadap pengaruh reaksi kimia
- 2) Dapat mengurangi sifat ekspansif dari campuran
- 3) Pencapaian kekuatan campuran yang besar
- 4) Dapat mengurangi kebutuhan air dalam campuran
- 5) Mendorong pemanfaatan karbon dioksida dalam pencapaian kekuatan
- 6) Menurunkan permeabilitas campuran
- 7) Meningkatkan workabilitas campuran.

Material pozolan dapat berupa suatu bahan yang dihasilkan dari alam atau dapat juga berupa material buatan. Material ini sebagian besar terdiri dari unsur silika oksida, kalsium oksida dan atau aluminat yang reaktif. Dalam keadaan tersendiri material tersebut tidak mempunyai sifat-sifat seperti semen, tetapi jika berupa bahan halus dan dicampur dengan kapur padam dan air, setelah beberapa waktu dapat mengeras pada suhu kamar dan membentuk suatu massa yang padat dan sukar larut dalam air (BSN, 2002; ACI, 2001), sebagai semen hidrolik. Material pozolan buatan dapat berupa hasil sisa buangan industri seperti batu bara atau produk sisa fabrikasi bahan pertanian, sedangkan material pozolan alam adalah material pozolan yang terbentuk secara alamiah seperti hasil letusan gunung berapi dan yang sering digunakan sebagai bahan konstruksi adalah tras. Material ini banyak terdapat di daerah Minahasa, sebagian Sulawesi utara dan juga pada daerah-daerah dimana terdapat gunung berapi. Tras (pozolan alam) merupakan hasil pelapukan material letusan gunung seperti *tuff* dan batu apung, dengan demikian tras halus adalah material alami yang mudah diperoleh.

Tanudjaja et al. (2000) menyatakan bahwa, penambahan tras halus (lolos saringan no. 200) dalam campuran semen akan memberikan penyempurnaan pengerasan dari pasta semen yang terbentuk, juga meningkatkan karakteristik mekanisnya. Dalam keadaan alamiah tras yang digali adalah berupa bongkahan-bongkahan, oleh karena itu perlu dilakukan proses penghalusan terhadap bongkahan tras, karena semakin halus ukuran butirnya semakin besar *specific surface* nya. *Specific surface* adalah angka yang menyatakan penyebaran luas permukaan partikel material, dimana semakin halus material semakin besar luas permukaan partikel material, sehingga mengakibatkan semakin banyak pasta (semen + air) yang dibutuhkan dan semakin banyak atau semakin luas pula partikel tras yang akan bereaksi dengan pasta semen, sehingga mengakibatkan mutu campuran semakin baik. Hal ini sangat menguntungkan dalam segi permeabilitas, workabilitas dan kekuatan.

Hasil pengujian terhadap komposisi kimia tras yang berasal dari Minahasa, menunjukkan bahwa jumlah kandungan silika, alumina dan besi oksida adalah lebih dari 90%, hal ini menunjukkan bahwa tras yang berasal dari Minahasa dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada campuran semen (ASTM C618-93). Jumlah kandungan silika, alumina dan besi oksida yang terkandung dalam tras sangat menentukan terjadinya reaksi pozolanik antara semen dan tras karena unsur-unsur inilah yang akan bereaksi dengan carbon dalam semen dan air, sehingga membentuk sementasi baru yang akan meningkatkan mutu campuran. Disamping itu, struktur dari unsur silika yaitu *amorphous silica* (silika aktif) atau *morphous silica* (silika tidak aktif) adalah hal yang menentukan terjadinya reaksi

pozolanik antara semen dan tras. Penambahan tras dalam campuran semen dapat berfungsi sebagai berikut:

- 1) Sebagai bahan tambahan (aditif) pada campuran semen
- 2) Sebagai bahan pengganti fungsi semen

Dari berbagai permasalahan diatas, dan berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan terdahulu, dapat disimpulkan bahwa pentingnya penelitian yang mendalam tentang teknik daur ulang lapis pondasi, dalam hal ini teknik daur ulang yang distabilisasi dengan semen (CTRB). Demikian pula penelitian substitusi parsial tras terhadap semen dalam campuran CTRB perlu dilakukan, agar menghasilkan campuran perkerasan jalan yang memiliki kinerja struktural yang handal, murah serta ramah lingkungan.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka identifikasi permasalahan yang berkaitan dengan teknik konstruksi perkerasan jalan, agar mendapatkan teknik konstruksi yang ramah lingkungan serta memiliki kinerja struktural yang handal dan tahan lama adalah sebagai berikut:

- 1) Berkurangnya sumber daya alam dan degradasi lingkungan yang diakibatkan oleh teknik konstruksi perkerasan jalan cara konvensional, telah mendorong para praktisi dan peneliti rekayasa jalan untuk menemukan material baru, serta mengembangkan teknologi alternatif konstruksi perkerasan jalan yang ramah lingkungan dan memiliki kinerja struktural yang tinggi.
- 2) Adanya keterbatasan anggaran karena krisis ekonomi serta persaingan akan tuntutan pembangunan infrastruktur yang lain menuntut adanya efektifitas dalam penggunaan anggaran untuk pembangunan infrastruktur jalan.
- 3) Konstruksi lapis perkerasan daur ulang campuran dingin langsung di tempat yang distabilisasi dengan semen (CTRB) sebagai konstruksi yang murah dan ramah lingkungan, memiliki beberapa kelemahan yaitu mudah retak sebagaimana sifat umum dari material campuran semen, disamping itu cepatnya proses hidrasi campuran sangat mempengaruhi tingkat kepadatan, sehingga proses pemadatan hanya dapat dilakukan dalam waktu yang singkat yaitu sebelum campuran mengeras.
- 4) Karakteristik material RAP dan RAM yang bervariasi dan sangat tergantung dari sumber dimana RAP dan RAM diperoleh.
- 5) Mahalnya biaya konstruksi perkerasan jalan dikarenakan semakin langkanya material perkerasan jalan (aspal dan agregat).
- 6) Penggunaan semen dalam campuran perkerasan jalan akan mendorong peningkatan kebutuhan dan produksi semen, dan dengan meningkatnya produksi semen

mengakibatkan meningkatnya emisi gas carbon dioksida (CO₂) yang mengganggu lingkungan (efek rumah kaca), serta mengakibatkan mahalnya biaya konstruksi perkerasan jalan karena mahalnya harga produksi semen. Oleh karena itu perlu adanya material pengganti sebagian semen sebagai material yang ramah lingkungan, murah dan membantu meningkatkan kinerja struktural campuran perkerasan jalan.

- 7) Belum termanfaatkannya material alam seperti tras sebagai material untuk konstruksi perkerasan jalan.

1.3. Mapping Penelitian Terdahulu

Sampai dengan saat ini, penelitian tentang teknik daur ulang lapis pondasi perkerasan jalan yang sudah dilakukan adalah mengenai material daur ulang RAP dan atau RAM, baik berupa campuran tanpa penambahan material stabilisasi, yaitu telah dilakukan antara lain oleh Kim et al. (2007), Guthrie et al. (2007), Deniz et al. (2009), Arulrajah et al. (2011), Sayed et al. (2011). Demikian pula penelitian tentang campuran dingin yang menggunakan bahan stabilisasi kimiawi seperti *calcium chloride*, polymer dan bahan stabilisasi konvensional seperti semen, kapur, *fly ash*, *Lime kiln dust* dan material pozolan yang lain telah dilakukan antara lain oleh Taha et al. (2002); Potturi (2006); Brown (2006); Guthrie et al. (2007); Miller et al. (2007); Ganne (2009); Inui et al. (2009); Yuan et al. (2010); Puppala et al. (2011); Han et al. (2011); Hoyos et al. (2011); Ebrahimi et al. (2011).

Substitusi material pozolan terhadap semen dalam campuran stabilisasi tanah dan campuran beton, menunjukkan adanya perbaikan terhadap kinerja campuran karena adanya penambahan material pozolan dalam campuran (Osman and Tabbal, 2009; Monkman and Shao, 2006; Yetgin and Cavdar, 2006 dan Jung et al., 2011). Namun demikian, penelitian tentang material daur ulang lapis pondasi yang mengandung RAP dan RAM yang distabilisasi dengan semen dimana sebagian semen disubstitusi parsial dengan tras halus (pozolan alam) belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dicoba untuk menyelidiki pengaruh substitusi tras (pozolan alam) terhadap karakteristik campuran CTRB serta mengembangkan persamaan empiris untuk menentukan kekuatan campuran dengan memasukkan efisiensi kadar tras yang dapat ditambahkan ke dalam campuran.

1.4. Perumusan Masalah

Penelitian tentang campuran CTRB perlu dilakukan karena campuran ini memiliki karakteristik mekanis yang cukup tinggi, mudah dalam pelaksanaan, murah serta ramah lingkungan. Namun demikian, campuran ini memiliki kelemahan yaitu mudah retak

sebagaimana sifat campuran semen pada umumnya. Substitusi tras terhadap sebagian semen dalam campuran dimaksudkan untuk menambah kekuatan campuran dan untuk mengurangi retak yang terjadi akibat reaksi kimia antara semen dan air.

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana meningkatkan sifat-sifat fisik (*physical properties*) dan sifat-sifat mekanis (*mechanical properties*) dari campuran CTRB
- 2) Bagaimana pengaruh dari penambahan material tras, waktu perawatan, dan kadar pori terhadap kinerja struktural campuran CTRB.
- 3) Bagaimana komposisi optimal dari penambahan kadar material semen (semen dan tras) yang dapat menghasilkan kinerja struktural campuran CTRB secara optimal.

1.5. Maksud Dan Tujuan Penelitian

1.5.1. Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah:

- 1) Untuk meningkatkan pemanfaatan material daur ulang RAP dan RAM dan diaplikasikan kembali pada konstruksi perkerasan jalan sebagai lapis pondasi dengan meningkatkan kinerja campuran (dalam hal ini daur ulang yang distabilisasi dengan semen dan tras) yaitu dengan meyebarakan dan mengurangi retak secara merata pada material campuran perkerasan.
- 2) Untuk meningkatkan pemanfaatan mineral tras sebagai pozolan alam bagi kebutuhan konstruksi perkerasan jalan dan konstruksi beton lainnya.
- 3) Untuk mendapatkan campuran CTRB yang memiliki stabilitas (kekuatan dan daya dukung) dan durabilitas (ketahanan terhadap retak) yang tinggi serta ramah lingkungan.

1.5.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Untuk meneliti sifat-sifat fisik (*physical properties*) campuran perkerasan CTRB yang sebagian kadar semennya disubstitusi dengan tras
- 2) Untuk menghitung besarnya pengaruh dari parameter-parameter porositas (η), kadar semen (C_{iv}) dan ratio perbandingan antara η dan C_{iv} (η/C_{iv}) terhadap sifat-sifat mekanikal campuran CTRB, melalui pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS), *Indirect Tensile Strength* (ITS), *California Bearing Ratio* (CBR).
- 3) Mengembangkan persamaan empiris untuk memprediksi kekuatan campuran (q_{ult}) CTRB dengan memasukkan faktor efisiensi material tras (α) dalam campuran.

1.6. Manfaat Hasil Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat untuk:

- 1) Membantu Pemerintah dalam hal ini Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Praktisi pekerjaan konstruksi jalan (Konsultan dan Kontraktor), untuk dapat mengatasi permasalahan yang ada dalam pelaksanaan dan aplikasi konstruksi daur ulang perkerasan jalan, khususnya daur ulang campuran dingin langsung di tempat pelaksanaan yang distabilisasi dengan semen dan tras.
- 2) Membantu penyusunan standar nasional konstruksi daur ulang perkerasan jalan, yang mencakup spesifikasi perencanaan dan pelaksanaan daur ulang campuran dingin langsung di tempat pelaksanaan yang distabilisasi dengan semen dan tras
- 3) Membantu meningkatkan pemanfaatan tras sebagai material pengganti semen untuk konstruksi bangunan.

1.7. Pembatasan Masalah Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada:

- 1) Material daur ulang RAP dan RAM dengan komposisi 40% RAP : 60% RAM dan 60% RAP : 40% RAM.
- 2) Campuran yang akan diteliti menggunakan teknik daur ulang campuran dingin langsung di tempat yang distabilisasi dengan semen dan tras
- 3) Campuran CTRB yang diteliti akan diaplikasikan untuk lapis pondasi atas pada perkerasan lentur jalan.
- 4) Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe 1.
- 5) Mineral tras yang digunakan sebagai substitusi parsial semen adalah tras halus yang lolos saringan no. 325.
- 6) Pengujian yang akan digunakan untuk menganalisis sifat-sifat fisik dan kekuatan campuran adalah Pengujian Pemadatan, UCS, ITS, CBR.

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian untuk disertasi ini terdiri atas 6 bab penting yang dapat diperinci sebagai berikut:

Bab 1. Pendahuluan yang berisi tentang:

Latar belakang penelitian yaitu tentang hal-hal yang menjadi dasar pijakan atau alasan mengapa penelitian ini perlu untuk dilakukan dan berdasarkan pada latar belakang ini,

beberapa permasalahan yang ada dirangkum dalam identifikasi masalah yang akan diselesaikan melalui penelitian ini. Disamping itu, bab ini juga memuat tentang *mapping* penelitian sebelumnya, yaitu hasil dari studi literatur terhadap penelitian-penelitian terdahulu dan *gap* yang belum pernah diteliti oleh peneliti sebelumnya untuk dijadikan bahan penelitian selanjutnya, sehingga penelitian ini benar-benar merupakan sesuatu yang baru dan belum pernah diteliti sebelumnya. Selanjutnya bab ini juga memuat tentang manfaat hasil penelitian, pembatasan masalah dan bagian akhir dari bab ini adalah mengenai sistematika penulisan.

Bab 2. Kajian Pustaka dan Kerangka pikir adalah memuat tentang:

Uraian secara sistematis tentang metode daur ulang konstruksi perkerasan jalan serta hasil-hasil penelitian terdahulu tentang metode daur ulang campuran dingin yang distabilisasi dengan semen (CTRB), juga penelitian-penelitian lain tentang campuran semen yang disubstitusi parsial dengan mineral pozolan buatan. Bab ini juga memuat tentang teori-teori dan fenomena yang biasa terjadi pada campuran perkerasan yang distabilisasi dengan semen. Bagian akhir dari bab ini adalah memuat tentang kerangka pikir dan hipotesis dari penelitian ini.

Bab 3. Metode penelitian yaitu berisikan tentang:

Metode yang akan digunakan dalam penelitian, tahap-tahap yang akan dilakukan dalam pelaksanaan penelitian, bagan alir penelitian, tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, desain dan skenario dari pelaksanaan penelitian, populasi dan sampel yang akan diuji dilaboratorium, variabel dan instrument yang akan digunakan dalam penelitian, rencana analisis data serta jadwal kegiatan penelitian.

Bab 4. Analisis Data yaitu memuat tentang:

Hasil yang diperoleh dalam penelitian secara menyeluruh dan terperinci, yaitu semua pengujian yang telah dilakukan terhadap sifat-sifat fisik dan kimia dari material yang membentuk campuran CTRB, hasil pengujian karakteristik kekuatan campuran CTRB dianalisa dengan statistik dan diinterpretasi. Dalam Bab ini, dijelaskan juga apakah tujuan penelitian atau hipotesis penelitian diterima atau ditolak.

Bab 5. Pembahasan dan Hasil Penelitian yaitu memuat tentang:

Diskusi secara mendalam dan ilmiah tentang hasil-hasil yang diperoleh dalam analisis data dan interpretasinya dengan membandingkannya dengan penelitian lain atau melihat keterkaitannya dengan teori yang ada.

Bab 6. Kesimpulan, Implikasi dan Saran yaitu memuat tentang:

Berbagai kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan, serta implikasinya, dan juga saran-saran yang dapat diberikan berupa penelitian lanjutan yang perlu dilakukan untuk lebih memantapkan penggunaan campuran CTRB pada konstruksi perkerasan jalan.

Bagian akhir dari disertasi ini adalah memuat daftar pustaka yaitu daftar judul buku, jurnal nasional dan internasional yang berkaitan dengan permasalahan penelitian yang diusulkan dan menjadi bahan acuan dalam penulisan disertasi ini. Dalam bagian ini juga terdapat lampiran-lampiran yaitu berisi data-data hasil penelitian serta informasi lainnya yang digunakan untuk mendukung penelitian ini.