

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sistem transportasi merupakan kebutuhan penting yang mana berfungsi untuk menunjang kemajuan ekonomi karena akan memudahkan mobilitas penduduk dari satu daerah ke daerah lainnya (LEMHAMNAS, 2012). Penerapan sarana transportasi memerlukan ketersediaan kendaraan yang memadai dan infrastruktur jalan yang baik. Di dalam UU No. 38 Tahun 2004 disebutkan bahwa jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

Fakta kondisi jalan di Indonesia masih sangat kurang memadai, hal ini disebabkan karena adanya kerusakan pada jalan baik kerusakan ringan ataupun kerusakan berat. Pada Semester 1 Tahun 2013, jalan nasional dalam kondisi baik sepanjang 19.600,32 km atau 50,82%; dalam kondisi sedang 14.809,68 km atau 38,40%; kondisi jalan ringan 2.506,21 km atau 6,50%; dan kondisi rusak berat sepanjang 1.653,61 km atau 4,29% (Buku Informasi Statistik Pekerjaan Umum, 2013). Salah satu penyebab kerusakan jalan tersebut diakibatkan karena muatan berlebih pada kendaraan, seperti pada kendaraan bermuatan atau truk. Truk merupakan alat transportasi dominan dimana jasanya digunakan untuk mengantarkan barang seperti dari produsen kepada distributor atau industri kecil (Karim, *et al.*, 2014).

Selain mengakibatkan kerusakan pada jalan, kelebihan muatan pada truk juga dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur dan dapat meningkatkan resiko faktor keamanan seperti kecelakaan terhadap pengguna jalan lainnya (Mahmoudabadi & Seyedhosseini, 2012). Oleh karena itu, perlu adanya upaya pengecekan beban kendaraan ataupun truk yang melewati jalan. Pengecekan dapat dilakukan dengan menggunakan sistem pemilah beban atau yang sering disebut sebagai jembatan timbang. Jembatan timbang akan memonitoring dan menghitung

beban kendaraan ketika kendaraan melewati sensor beban. Sehingga penggunaan jembatan timbang dapat menjadi solusi alternatif untuk mencegah dan mengurangi terjadinya masalah akibat kerusakan jalan yang diakibatkan kelebihan muatan pada kendaraan. Jembatan timbang yang pada umumnya digunakan dalam memonitoring beban kendaraan merupakan jembatan timbang yang bersifat statis, dimana pengukuran beban total dari kendaraan dilakukan tepat ketika kendaraan berada diatas sensor sehingga dapat menyebabkan penumpukan kendaraan pada area jembatan timbang dan juga dapat melebar hingga ruas jalan akibatnya dapat berdampak kemacetan pada ruas jalan apabila arus jalan sedang padat. Hal tersebut menyebabkan penggunaan jembatan timbang statis kurang efisien, sehingga diperlukan adanya sistem pemilah beban yang dapat langsung menentukan beban ketika kendaraan melewati sensor beban. Sehingga dibuatlah sistem pemilah beban berupa jembatan timbang dinamis yang memanfaatkan sistem *Weigh In Motion* (WIM). Sistem pemilah WIM digunakan untuk memberikan batas muatan yang diperbolehkan pada kendaraan bermuatan atau truk (Karim, *et al.*, 2014). Sistem WIM dilengkapi dengan kemampuan mengukur beban kendaraan ketika truk berjalan dengan kecepatan tertentu melewati sensor yang diletakkan di bawah permukaan aspal (Mahmoudabadi & Sayedhosseini, 2012).

Sistem WIM efektif dalam pengumpulan data suatu penelitian rancangan pembuatan jalan, pemantauan lalu lintas, serta penentuan berat kendaraan (Wang & Wu, 2004). Kelebihan lain dari penggunaan sistem WIM, yaitu dapat meningkatkan keselamatan pengguna jalan dan untuk perbaikan jalan serta perencanaan transportasi jalan yang lebih baik untuk kedepannya.

Sistem WIM yang dikembangkan saat ini menggunakan beberapa metode sensor WIM, diantaranya menggunakan sistem *load cell* dan *piezoelectric*. Pada sensor *load cell* ketika bagian *sensing area* diberikan tekanan maka elemen logam yang bersifat elastis di dalam *load cell* akan mengalami perubahan regangan yang mengakibatkan nilai resistansi pada bagian *sensing area* juga akan berubah. Semakin besar perubahan resistansi pada *load cell* menunjukkan bahwa semakin besar pula bobot suatu kendaraan yang terukur. *Load cell* pada sistem WIM

memanfaatkan beban sel tunggal dengan dua skala untuk mendeteksi poros dan berat kedua sisi kanan dan kiri roda secara bersamaan. Ketika kendaraan melewati sel beban, sistem akan mencatat berat yang terukur untuk masing-masing skala dan menggabungkan keduanya untuk mengetahui berat pada poros (Cheng *et al.*, 2007).

Sensor *piezoelectric* terbuat dari bahan yang menghasilkan muatan listrik saat mengalami perubahan mekanis. Muatan listrik tersebut menghasilkan tegangan yang bergantung pada gaya eksternal (Cheng *et al.*, 2007). Gaya eksternal tersebut berupa tekanan yang diberikan terhadap sensor *piezoelectric* dan sangat sensitif terhadap gaya eksternal yang diterima, sehingga sensor *piezoelectric* ini baik digunakan untuk kendaraan bergerak cepat pada sistem WIM (Guo *et al.*, 2004). Pada sensor *piezoelectric*, konstruksi dasar yang terdiri dari tembaga yang dikelilingi oleh bahan *piezoelectric* dan dibungkus oleh tembaga ini dalam mengukur bobot kendaraan memanfaatkan perubahan tegangan yang timbul dikarenakan bahan material *piezoelectric* dalam keadaan tertekan. Perubahan tegangan yang dihasilkan kemudian dikonversi kedalam bentuk satuan berat.

Kedua sensor WIM tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada sensor *load cell* meskipun memiliki kelebihan dimana *lifetime* dari sensor sekitar 5 tahun dan sensor disertai dengan teknologi termutakhir, namun yang menjadikan kekurangan sensor ini terletak pada biaya perawatan yang mahal dan instalasi dari sensor cukup rumit. Pada sensor *piezoelectric* memiliki kelebihan yaitu dapat mengklasifikasi kendaraan dengan akurat dan pada instalasinya dilakukan dengan mudah serta memakan biaya yang murah, namun tidak lepas dari kekurangan dimana sensor memiliki nilai akurasi yang rendah karena dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan (Qi *et al.*, 2013). Kekurangan tersebut kemudian yang menjadikan serat optik sebagai pilihan inovasi untuk sistem WIM dengan meninjau kelebihan dan kekurangannya.

Serat optik merupakan pandu gelombang yang berbentuk silinder. Sistem penginderaan berdasarkan serat optik telah banyak dikembangkan, karena serat optik memiliki beberapa keunggulan diantaranya berdiameter kecil, ringan,

memiliki sensitivitas yang tinggi dan dapat digunakan sebagai pendeteksi informasi transmisi (Malla *et al.*, 2008). Sensor serat optik menggunakan sensitivitas serat untuk transformasi jumlah masukan yang akan dimodulasi sinyal optik. Sensor ini prinsip kerjanya berdasarkan efek modulasi cahaya serat optik yang mana cahaya monokromatik bergerak ke ujung serat optik. Intensitas cahaya akan berubah ketika dipengaruhi faktor eksternal seperti suhu, tekanan dan perubahan lainnya (Wang *et al.*, 2013). Teknik serat optik yang digunakan untuk sistem WIM berdasarkan kelenturan rugi-rugi, modulasi intensitas cahaya serat optik dengan *single core* (Malla *et al.*, 2008). Kelebihan dari penggunaan sistem WIM berbasis serat optik diantaranya adalah harga sensor yang tidak terlalu mahal dan biaya perawatannya lebih murah, instalasi dari sensor mudah dimana sensor dapat bersifat permanen ataupun *portable*. Namun kekurangan sensor berbasis serat optik ini, sensor mudah mengalami *bending* yang dapat membuat sensor tidak dapat digunakan dan rusak, oleh sebab itu diperlukan ketelitian dan hati-hati dalam instalasi sensor. Kelebihan lainnya dari sensor serat optik yaitu sensor tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca sehingga sensor tidak terpengaruh oleh kondisi tersebut, oleh karena itu didapatkan nilai akurasi dari pengukuran yang tinggi (Lin *et al.*, 2012).

Penelitian mengenai sensor WIM berbasis serat optik telah lama dilakukan di Laboratorium Optik dan Fotonik Universitas Sebelas Maret Surakarta untuk pengukuran beban kendaraan berjalan yaitu dengan tipe modulasi intensitas dan memanfaatkan prinsip rugi-rugi karena adanya pembengkokan pada serat optik. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai pergeseran terhadap rugi-rugi serat optik dipengaruhi oleh besar jari-jari lilitan serat optik pada *fiber sensor* sehingga akan mempengaruhi intensitas cahaya keluarannya (Novianto, 2014). Perubahan intensitas cahaya keluaran juga dipengaruhi oleh perubahan massa, transmitansi akan menurun ketika massa bertambah (Prasetyo, 2014).

Kecepatan merupakan salah satu parameter yang diperhitungkan dalam sistem pengukuran beban berjalan. Keadaan ideal dari sistem pengukuran beban bergerak sendiri meliputi tingkat kerataan lintasan dan *balancing* dari ban (Zhi *et al.*, 1999). Pada penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo (2014), Philbertanto

(2015), Putra (2015) sensor WIM merupakan sensor beban kendaraan yang dibuat dilengkapi dengan sensor kecepatan berupa *photogate sensor* yang akan mendeteksi kelajuan dari beban kendaraan berjalan. Sensor *photogate* terdiri dari dua sumber laser dan detektor cahaya yang diletakkan sejajar sehingga ketika kendaraan berjalan melewati *photogate* maka akan menghalangi cahaya dari laser yang akan ditangkap oleh detektor pada selang waktu tertentu. Dihitung waktu yang ditempuh ketika kendaraan melewati kedua laser maka kelajuan bobot berjalan dapat terdeteksi.

Sensor kecepatan berupa *photogate sensor* ini memiliki kelemahan yaitu ketika kendaraan melewati *fiber sensor*, *photogate sensor* menerima getaran dari kendaraan berjalan sehingga dapat menyebabkan ketidaktepatan data yang diterima dari *photogate sensor* dan apabila terdapat benda asing yang melewati *photogate sensor* juga akan mempengaruhi kelajuan ketika kendaraan melewati sensor. Dengan demikian, dibuatlah sensor WIM dengan fungsi bobot terukur pada sistem yang terintegrasi sensor kecepatan pada *pad fiber sensor* yang tertanam pada jalan.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *fiber optic* jenis serat optik plastik (*POF*) sebagai sensor WIM. Serat optik dililitkan melingkari silinder yang dibuat dari *rubber silicone* dengan diameter dan lebar jalan tertentu sehingga masih ada cahaya yang diteruskan dari ujung satu ke ujung lainnya (Prasetyo, 2014). Berdasarkan jumlah lilitan yang banyak akan menyebabkan rugi-rugi yang besar karena alasan ini maka dibuat sensor fiber optik dengan cara membuat lilitan tidak dapat berukuran panjang. Ketika terjadi penekanan terhadap serat optik tersebut, maka akan terjadi perubahan intensitas cahaya yang kemudian ditransmisikan di dalam serat optik (Novianto, 2014).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prasetyo (2014) telah dibuat sistem *fiber sensor* berbasis komputer yang diaplikasikan pada aplikasi WIM yang dapat digunakan untuk mendeteksi beban berjalan. Pemberian variasi massa menunjukkan gaya berat total beban berjalan tidak dipengaruhi oleh posisi massa beban pada beban berjalan. Beban pada beban berjalan akan terdistribusi pada sumbu roda beban berjalan dan variasi kelajuan pada kendaraan berjalan

berpengaruh pada nilai transmitansi *fiber sensor*. Penelitian lanjutan juga dilakukan oleh Putra (2010) dengan menggunakan model *dual fiber sensor* dan model *single fiber sensor*, terdapat perbedaan *loss* pada keduanya model. *Loss* yang terukur pada model *dual fiber sensor* lebih kecil dibandingkan pada model *single fiber sensor* dimana *loss* yang terukur lebih besar. Kedua model *fiber sensor* kurang sensitif dalam melakukan pengukuran beban, dimana lebar sentuhan lebih besar daripada *fiber sensor* yang dibuat, akibatnya akan mempengaruhi pembacaan beban dari kendaraan.

Penelitian ini akan dibuat model 3 *fiber sensor* yang disusun berjajar pada sebuah *pad* yang dibuat sesuai lebar sentuhan dari ban kendaraan. *Pad fiber sensor* terdiri dari sensor kecepatan dan sensor beban yang keduanya terintegrasi dan digunakan dalam pengukuran beban kendaraan. Pengukuran beban kendaraan akan dilakukan dengan pengukuran jumlah intensitas cahaya keluaran dari serat optik yang telah dililitkan pada *fiber sensor*. Nilai transmitansi yang terbentuk berupa puncak-puncak transmisi yang terukur merupakan hasil dari variasi beban dan variasi kelajuan dari kendaraan. Diharapkan dalam penelitian ini hasilnya dapat diterapkan dalam sensor beban kendaraan berjalan atau *Weigh In Motion* (WIM) pada jembatan timbang.

1.2. Batasan Masalah

Penelitian diadakan untuk membuat *hardware* dan *software* yang mendukung interaksi *hardware* berupa *pad* yang didalamnya terdapat fiber sensor bobot yang diintegrasikan dengan sensor kecepatan. Penelitian dimaksudkan untuk mencari konfigurasi optimum terkecil dengan posisi relatif fiber sensor bobot dan dua sensor kecepatan. Analisis dibuat untuk mengkaitkan hubungan antara kecepatan terdeteksi dengan bobot dinamis yang bersesuaian. Untuk tujuan kecepatan eksperimen akan dilakukan pada skala model laboratorium dengan serat optik yang digunakan adalah fiber optik plastik (POF) dan *pad* dibuat dari bahan RTV R88.

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana bentuk respon perubahan rugi-rugi (*loss*) *fiber sensor* oleh perubahan beban statis dan beban dinamis?
2. Bagaimana menentukan akurasi sensor *Weigh In Motion* (WIM) ?
3. Bagaimana membuat *pad fiber sensor* dengan sistem yang terintegrasi?

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah di atas dapat diketahui tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui bentuk respon perubahan rugi-rugi (*loss*) *fiber sensor* oleh perubahan beban statis dan beban dinamis.
2. Menentukan akurasi sensor *Weigh In Motion* (WIM)
3. Mendapatkan *pad fiber sensor* dengan sistem yang terintegrasi.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Memberikan informasi mengenai sensor serat optik yang diharapkan dapat diaplikasikan pada jembatan timbang.
2. Memberikan informasi mengenai hubungan bobot terukur dengan kecepatan terukur pada sensor serat optik.
3. Agar dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya mengenai *Weigh In Motion* berbasis serat optik.