

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

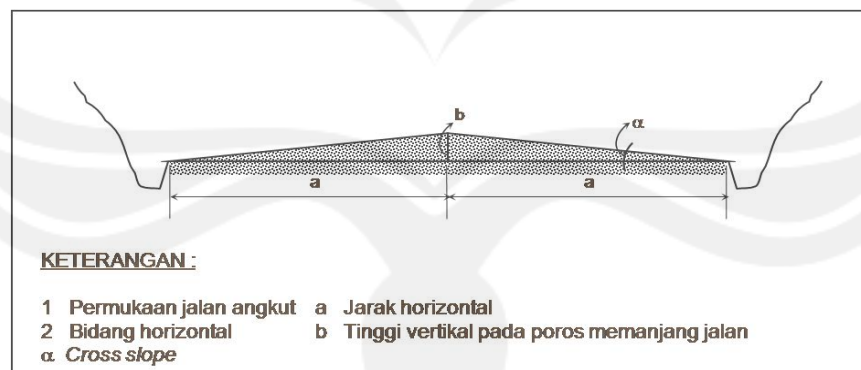
2.1. Umum

Dalam Sunarto (2008) terdapat pengertian bahwa Bangsa Romawi menyebut jalan atau *street* mereka sebagai *viastraeta* yang berarti *rute* atau jalan yang terbuat dari berbagai bahan secara berlapis-lapis. Seiring perjalanan waktu, kata *via* dihilangkan, dan *straeta* menjadi *street*. Jalan dalam kota cenderung disebut *street* karena pada zaman pertengahan (antara 1100-1500), dan sampai abad ke 16, jalan hanya diperkeras dikota- kota saja. Tujuan utama pembuatan struktur jalan adalah untuk mengurangi tegangan atau tekanan akibat beban roda sehingga mencapai tingkat nilai yang dapat diterima oleh tanah yang menyokong struktur tersebut. Perkerasan umumnya terdiri dari empat lapis material konstruksi jalan di atas lapis tanah dasar seperti :

1. lapis fondasi bawah, berfungsi untuk penyebaran beban, drainase bawah permukaan tanah (jika digunakan material drainase bebas), dan permukaan jalan selama konstruksi,
2. lapis fondasi jalan, merupakan lapisan utama yang mendistribusikan beban lapis permukaan dasar, memberikan daya dukung pada lapis aus dan juga berperan sebagai pelindung jalan,
3. lapis aus, yang berfungsi menyediakan permukaan jalan yang anti selip, memberikan perlindungan kedap air bagi perkerasan, dan menahan beban langsung lalu-lintas.

Tanah dalam kondisi alam jarang sekali dalam kondisi mampu mendukung beban berulang dari kendaraan tanpa mengalami deformasi yang besar. Karena itu, dibutuhkan suatu struktur yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan. Struktur ini disebut perkerasan atau *pavement*.

Hardiyatmo (2007), berpendapat bahwa perkerasan di atas tanah biasanya dibentuk dari beberapa lapisan yang relatif lemah di bagian bawah dan berangsur-angsur lebih kuat di bagian yang lebih atas. Susunan yang demikian ini memungkinkan penggunaan secara lebih ekonomis dari material yang tersedia. Susunan suatu lapis perkerasan lentur menurut SNI 1732-1989-F tentang perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metoda analisa komponen, umumnya meliputi lapis permukaan atau *surface course*, lapis fondasi atau *base course* dan lapis fondasi bawah atau *sub base course*. Susunan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Perkerasan Jalan

Hendarsin (2000), berpendapat bahwa dalam perencanaan konstruksi perkerasan jalan perlulah dipertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi pelayanan konstruksi perkerasan jalan seperti :

1. fungsi jalan,
2. kinerja perkerasan,
3. umur rencana,
4. lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan jalan,
5. sifat tanah dasar,
6. kondisi lingkungan,
7. sifat dan banyak material tersedia di lokasi yang akan digunakan untuk bahan lapisan perkerasan,
8. bentuk geometrik lapisan perkerasan.

Sukirman (1995), berpendapat bahwa konstruksi perkerasan jalan diperhitungkan dari sisi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, maka harus memenuhi syarat :

1. ketebalan yang cukup,
2. kedap terhadap air,
3. permukaan mudah mengalirkan air,
4. kekuatan perkerasan tanpa menimbulkan deformasi.

Untuk memenuhi persyaratan diatas, tahap perencanaan haruslah mencakup :

1. perencanaan tebal masing-masing lapisan perkerasan, dengan memperhatikan daya dukung tanah dasar, beban lalu lintas yang akan dipikul, keadaan lingkungan, jenis lapisan yang dipilih,
2. analisa campuran bahan, dengan memperhatikan mutu dan jumlah beban setempat yang tersedia, direncanakan suatu susunan campuran tertentu sehingga terpenuhi spesifikasi dari jenis lapisan yang dipilih,

3. pengawasan pelaksanaan pekerjaan. Perencanaan tebal perkerasan yang baik, susunan campuran yang memenuhi syarat, pengawasan pelaksanaan yang cermat mulai dari tahap penyiapan lokasi dan material, penghamparan, pemadatan sampai tahap pemeliharaan.

Khoiri dan Machsus (2007), berpendapat bahwa di lapangan, akibat adanya kembang susut pada tanah ekspansif menyebabkan kerusakan struktur bangunan yang berada di atasnya misalnya jalan, lantai rumah, dll. Sehingga diperlukan desain khusus pada dasar struktur bangunan tersebut, agar terhindar dari kerusakan yang mungkin ditimbulkan oleh tanah ekspansif tersebut.

2.2. Perkerasan Lentur

Sistem pembangunan *flexible pavement* merupakan salah satu sistem perkerasan yang lazim dipakai dalam suatu pembangunan jalan raya baik arteri, lokal, maupun kolektor. Konstruksi perkerasan lentur yang terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya. Konstruksi perkerasan tersebut terdiri dari lapisan permukaan atau *surface course*, lapisan fondasi atas atau *base course*, lapisan fondasi atas atau *subbase course*, dan lapisan tanah dasar atau *subgrade*. Guna dapat memenuhi fungsi dari lapisan permukaan perkerasan tersebut, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. Kapasitas dukung perkerasan lentur murni, bergantung pada

karakteristik distribusi beban dari system lapisan pembentuknya. Kekuatan perkerasan lentur lebih dihasilkan dari kerjasama lapisan tebal dalam menyebarkan beban ke tanah-dasar atau *subgrade*. Salah satu sifat perkerasan lentur yang sangat sensitif adalah mengikuti pergerakan tanah dasar pada waktu penurunan tanah dasar, sehingga sangatlah berpotensi terjadinya gelombang pada jalan (Hardiyatmo, 2007).

2.3. Perkerasan Kaku

Hardiyatmo (2008), berpendapat bahwa perkerasan kaku adalah perkerasan jalan beton semen atau perkerasan kaku, terdiri dari plat beton semen, dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah, di atas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton semen sering juga dianggap sebagai lapis pondasi, kalau di atasnya masih ada lapisan aspal. Pelat beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar yang melingkupi daerah yang cukup luas. Dengan demikian, bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton itu sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan; dimana masing-masing lapisan memberikan kontribusinya. Yang sangat menentukan kekuatan struktur perkerasan dalam memikul beban lalu lintas adalah kekuatan beton itu sendiri. Sedangkan kekuatan dari tanah dasar hanya berpengaruh kecil terhadap kekuatan daya dukung struktural perkerasan kaku. Lapis pondasi bawah, jika digunakan di bawah plat beton, dimaksudkan untuk sebagai lantai kerja, dan untuk drainase

dalam menghindari terjadinya pumping. Pumping adalah peristiwa keluarnya air disertai butiran-butiran tanah dasar melalui sambungan dan retakan atau pada bagian pinggir perkerasan, akibat gerakan lendutan atau gerakan vertikal plat beton karena beban lalu lintas, setelah adanya air bebas yang terakumulasi di bawah plat beton. *Pumping* dapat mengakibatkan terjadinya rongga di bawah plat beton sehingga menyebabkan rusak/retaknya plat beton.

2.4. Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku atau *rigid pavement* dan lapisan perkerasan lentur atau *flexible pavement* di atasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya (Hendarsin, 2000).

2.5. Perkerasan Cakar Ayam

Sistem perkerasan Cakar Ayam pertama kali ditemukan oleh almarhum Prof. Dr. Ir. Sedyatmo pada tahun 1961. Secara umum, sistem perkerasan Cakar Ayam, adalah perkerasan yang terbuat dari *slab* tipis beton bertulang (tebal 10-20 cm) yang diperkaku dengan pipa-pipa beton berdiameter 120 cm, tebal 8 cm, dan panjang pipa 150-200 cm, yang tertanam pada lapisan *subgrade* lunak di bawahnya, dengan jarak pipa-pipa 200-250 cm. Di bawah slab beton, terdapat lapisan *lean concrete* setebal 15 cm (terbuat dari beton mutu rendah) dan lapisan

sirtu setebal 35- 40 cm yang berfungsi utama sebagai perkerasan sementara selama masa pelaksanaan konstruksi dan agar cukup kuat untuk dilalui oleh alat berat yang mengangkut pipa-pipa beton tersebut serta agar permukaan tanah dasar dapat rata sehingga *slab* beton Cakar Ayam dapat dibuat di atasnya. Sistem Cakar Ayam telah banyak dipakai dalam praktek sebagai : fondasi, menara transmisi tegangan tinggi, fondasi bangunan gedung, gudang, dan hangar perkerasan lapangan terbang (*runway*, *taxi way*, dan *apron*) diberbagai bandara, dan perkerasan jalan raya di berbagai jalan tol, yang semuanya dibangun di atas tanah yang relatif lunak sampai sedang. (Hardiyatmo, 2008).

Hardiyatmo (2008) berpendapat bahwa Cakar Ayam Modifikasi adalah suatu sistem perkerasan Sistem Cakar Ayam yang mengalami sedikit perubahan pada bagian tertentu. Bagian yang mengalami modifikasi adalah penggunaan pipa baja sebagai cakar dan balok koperan sebagai pelat penutup tepi yang berfungsi sebagai tahanan terhadap beban maupun perlemahan tanah dasar di bagian tepi perkerasan. Konstruksi perkerasan disini merupakan satu kesatuan (komposit) yang terdiri dari slab beton, pipa cakar ayam terbuat dari baja galvanis dan material yang digunakan disekelilingnya serta material isian di dalam pipa. Dasar dari ditemukannya produk ini adalah perlunya jenis perkerasan pada daerah tanah lunak yang cukup tebal dengan lalu lintas padat dan berat serta cenderung *over load*. Untuk dapat memahami lebih jauh perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi perlu diketahui terlebih dahulu latar belakang Sistem Cakar Ayam temuan Prof. Dr. Ir. RM Sedyatmo Hadmohoedojo pada tahun 1961

1. Sejarah Singkat tentang perkembangan Cakar Ayam pertama kali diuraikan sebagai berikut :

- a. ditemukan tahun 1961, sebagai fondasi menara transmisi tegangan tinggi di atas tanah lunak atau rawa-rawa dengan tanah lunak berdaya dukung $\pm 1,5$ sampai dengan $3,0 \text{ t/m}^2$,
 - b. perkembangan selanjutnya diaplikasikan untuk fondasi gedung bertingkat, fondasi menara air, fondasi pilar atau jembatan, sistem perkerasan jalan raya, lapangan terbang, yang kesemuanya berada di atas tanah lunak sedang,
 - d. tahun 1989 diaplikasikan di Jalan Sitiawan dan Malaka, Malaysia pada medan tanah lunak atau rawa-rawa,
 - e. gaya-gaya dan momen yang bekerja di bawah pelat beton yang diakibatkan oleh beban Q di pinggir. Beban Q dapat digantikan oleh beban terpusat Q_1 di tengah pelat dengan ditambahkan momen $M = Q_2 \times 0,5 L$ (L = lebar pelat beton dan $Q = Q_1 = Q_2$). Akibat Q_1 akan terjadi tekanan terbagi rata sebesar $q = Q_1/L$ dan akibat momen (M) akan ditahan oleh momen-momen lawan yang bekerja pada pipa-pipa Cakar Ayam ($m = 2/3 \times P \times h$, dengan P = tekanan tanah pasif total yang bekerja pada setiap pipa dan h = tinggi Cakar Ayam).
2. Konsep dasar pemahaman tentang pelaksanaan Sistem Cakar Ayam pada awalnya adalah sebagai berikut :
- a. pipa-pipa Cakar Ayam berfungsi sebagai *stiffener* (pengaku) sehingga slab tipis (15 cm) dapat berperilaku seperti slab tebal ($\pm 45 \text{ cm}$) namun dengan berat sendiri *slab* yang jauh lebih kecil,

- b. sangat berfungsi bagus apabila mendukung beban terpusat atau momen,
 - c. karena kakunya *slab*, beban terpusat mampu disebarkan ke luasan efektif yang relatif besar,
 - d. lendutan akibat beban terpusat relatif jauh lebih kecil,
 - e. perbedaan penurunan atau *defferential settlement* yang terjadi relatif jauh lebih kecil,
 - f. yang menahan rotasi pipa bukan tekanan tanah pasif (K_p) namun reaksi subgrade horizontal (K_n),
 - g. tidak dapat mengatasi masalah konsolidasi penurunan atau *consolidation settlement* terutama bila dibangun di atas timbunan.
3. Studi yang telah dilakukan oleh beberapa orang dan organisasi ternama dalam perjalanan Sistem Cakar Ayam meliputi:
- a. Antono dan Daruslan,
 - 1) 1996 : *Laboratory model test* di Teknik Sipil UGM (*bearing capacity* meningkat 100% dan defleksi menurun 50%).
 - 2) 1979 : *Full scale loading test* di apron Juanda – Surabaya.
 - 3) 1981 : *Full scale loading test* di runway Polonia – Medan.
 - b. Aeroport de Paris Consulting Engineers – France,
 - 1) 1982 : *Full scale loading test runway* Soekarno-Hatta Jakarta
 - 2) Analisis hitungan secara analitis pernah diajukan oleh Sudarsono (1982), Suraatmadja (1982), Sosrowinarso (1982) dan Chen & Lima Sale (1982).

3) fukuoka dari University of Tokyo tahun 1988, melakukan penelitian eksperimental di laboratorium dan pendekatan secara numerik dengan metode *finite difference*.

c. Soehendro (1992),

- 1) Menganalisis sistem Cakar Ayam dengan model numerik, yaitu dengan menggunakan metode elemen hingga baik idialisasi 2 dimensi maupun 3 dimensi.
- 2) Validasi telah diuji dengan menggunakan hasil pengamatan model skala penuh sistem Cakar Ayam pada *apron* Bandara Surabaya (1980), *runway ekstension* Polonia Airport Medan (1981) dan *runway* Bandara Soekarno-Hatta Jakarta (1992). Dihasilkan berbagai charts untuk membantu analisis perancangan.

d. Hardiyatmo (2000)

Melakukan pengujian eksperimental di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UGM menyimpulkan :

- 1) jarak penyebaran lendutan dari pusat beban akibat beban titik terjadi pada radius kira-kira 4-5 kali diameter cakar,
- 2) tekanan tanah lateral yang melawan rotasi Cakar Ayam bukanlah tekanan tanah pasif ($P_h = H_y K_p$), tetapi tekanan tanah dengan koefisien K_n (modulus reaksi subgrade horisontal). Sehingga tekanan tanah lateral (P_h) di sembarang kedalaman cakar dinyatakan oleh : $P_h = H_y K_n$.

Sistem Cakar Ayam Modifikasi merupakan pengembangan dari sistem Cakar Ayam temuan Prof. Dr. Ir. Sedyatmo setelah melangkahi studi-studi yang

telah/pernah dilakukan serta memperhatikan pengalaman-pengalaman di lapangan. Berdasarkan pada studi tersebut terciptalah suatu inovasi dalam penanganan tipe tanah dasar ekspansif yang menjadikan terciptanya Sistem Cakar Ayam Modifikasi tersebut. Sistem Cakar Ayam Modifikasi terdiri dari atas tiga tipe (Hardiyatmo, 2009).

2.5.1 Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi 1

Hardiyatmo (2006) berpendapat bahwa pipa beton yang telah digunakan pertama kali sebagai pipa cakar ayam, diganti dengan pipa baja tahan karat/galvanis yang memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. mudah dilaksanakan,
2. ringan (tebal minimum 1,4 mm dan beratnya 35 kgf),
3. tidak perlu alat berat,
4. tidak perlu perkerasan sementara (lapis sirtu dan *lean concrete* yang tebal) untuk dilewati alat berat pada saat konstruksi.

Selain itu, penambahan lapisan aspal setebal 3 cm di atas *slab* yang berfungsi ganda sebagai *wearing course*, meningkatkan *riding quality*, dan mengeliminir dampak buruk pengaruh beban *thermal* pada wilayah tropis.

2.5.2 Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi 2

Dalam modifikasi sistem cakar ayam yang ke dua ini memiliki sedikit perbedaan dibanding modifikasi pertama. Perbedaan tersebut terletak pada *slab* yang langsung berada pada elevasi tanah asli berfungsi sebagai perkerasan kaku (tidak di atas timbunan). Pipa cakar yang terbuat dari baja galvanis berfungsi sebagai *sub-base* atau fondasi pada system perkerasan ini. Dalam keadaan dimana

permukaan jalan harus berada di atas permukaan tanah asli, maka diperlukan timbunan. Semua bahan yang memenuhi syarat timbunan bisa dipakai dengan CBR terendam minimum 2% dan tinggi timbunan maksimal 80 cm. Dalam hal ini sistem CAM berfungsi sebagai *base*. (Hardiyatmo, 2006).

2.5.3 Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi 3

Modifikasi Sistem Cakar Ayam yang terakhir ini, menempatkan sistem perkerasan tersebut di atas timbunan, beberapa perbedaan *item* yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut (Suhendro – Hardiyatmo, 2006) :

1. dikembangkan bahan timbunan ringan (berat volume bisa dibuat kurang dari 1) bahan tersebut ditimbun di atas slab Cakar Ayam, sesuai keperluan untuk mencapai elevasi jalan, untuk timbunan lebih dari 2 m,
 2. dikembangkan *precast hollow box* sebagai pengganti timbunan, yang beratnya dapat mencapai 0,5 kali berat timbunan konvensional, untuk timbunan $\pm 1,5$ m,
 3. masalah *consolidation settlement* lebih teratasi,
 4. waktu pelaksanaan jauh lebih cepat karena bisa dibuat di luar lokasi pekerjaan (pada saat yang bersamaan dengan pelaksanaan penanaman Cakar Ayam dan konstruksi *slab*) dan dipindahkan ke lokasi pekerjaan pada waktunya.
- Modifikasi ini telah diterapkan dalam bentuk pengujian eksperimental skala penuh oleh Prof. Dr. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, pada lokasi daerah tambak di Surabaya dimana pipa beton diganti dengan pipa baja tahan karat atau galvanis dan slab beton langsung menapak pada tanah asli.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Dalam laporan penelitian final yang dilakukan oleh Hardiyatmo (2009) telah diteliti tentang perilaku sistem Cakar Ayam pada tanah ekspansif. Penelitian yang dilakukan dengan uji perilaku sistem Cakar Ayam di lapangan ini telah memberikan beberapa gambaran tentang perhitungan ekspansifitas tanah dasar, perilaku kekakuan cakar pada pelat (slab), dan pengaruh nilai koefisien subgrade tanah vertikal dan horizontal terhadap nilai defleksi vertikal, momen dan gaya. Dalam penelitian tersebut, analisis dan input data perancangan menggunakan software SAP 2000 v.11.0.0. Setelah melakukan analisis perancangan model Cakar Ayam tersebut, dilakukan beberapa pengamatan meliputi :

1. pengamatan pengembangan pada permukaan pelat Sistem Cakar Ayam,
2. pengamatan tekanan pengembangan dengan menggunakan *proving ring*
3. pembebanan sentris dan eksentris pada *slab* dengan menggunakan cakar.

Beberapa data hasil penelitian meliputi :

1. hasil uji tanah lempung Wates, Yogyakarta menunjukkan nilai Indeks Properties, batas susut, batas plastis, dan indeks plastisitas,
2. modulus elastisitas pelat baja,
3. pengujian pengembangan dengan *oedometer*.

Hutomo (2009) telah meneliti tentang Perencanaan Tebal Serta Anggaran Biaya pada Lajur Khusus Bus Trans Pakuan Kota Bogor Koridor Terminal Bubulak-Pool Bus Wisata Baranangsiang. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan perkerasan kaku memiliki biaya konstruksi lebih mahal daripada perkerasan lentur, namun telah mencapai tebal minimum yang diisyaratkan oleh

masing-masing metode perencanaan jalan. Dalam laporan tersebut mencantumkan tabel perbandingan antara perkerasan lentur dan kaku, dan tabel harga satuan daerah Bogor tahun 2008, yang kiranya menjadi dasar perhitungan inti permasalahan.

Dalam Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan Dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Pekerjaan Umum (2008) telah menghasilkan perhitungan penulangan *slab* Cakar Ayam Modifikasi yaitu P10-125 dengan menggunakan SAP 2000 v.11.0.0. Penelitian tentang uji coba Cakar Ayam Modifikasi I selama 16 bulan menghasilkan data kondisi badan jalan masih baik, hanya terdapat retak halus di dekat bahu jalan atau pinggir badan jalan. Untuk hasil pengujian tanah di laboratorium pada Sta. 25+978, menghasilkan data Indeks Plastisitas (PI) pada kedalaman 4 sampai 4,5 meter sebesar 52 %, kedalaman 6 sampai 6,5 meter sebesar 67 %, dan kedalaman 11 sampai 11,25 meter sebesar 46 %.