

## ABSTRAK

### **STUDI KARAKTERISTIK DAN PENGEMBANGAN MODEL *FLEXURAL-FATIGUE* BETON BERPORI DARI SISTEM 2-LAYER SEBAGAI LAPIS PONDASI PERKERASAN KAKU DI INDONESIA**

Oleh  
**FRISKY RAMC**  
**NIM: 35014301**  
**(Program Studi Doktor Teknik Sipil)**

Dalam pendekatan model mekanistik, perkerasan kaku didesain berdasarkan faktor keamanan beban dan kekuatan material dengan dua kriteria keruntuhan. Salah satu kriteria keruntuhan tersebut adalah keruntuhan akibat *fatigue*. Keruntuhan akibat *fatigue* dipengaruhi oleh pembebanan pada ujung pelat, daya dukung tanah dasar, kekuatan material, tegangan lenting dan jumlah repetisi beban. Lapis pondasi dengan material berbutir seringkali menjadi jenuh pada saat terjadi atau pada saat setelah hujan. Kondisi jenuh ini menyebabkan pergerakan yang dapat menurunkan daya dukung pada lapis pondasi. Disisi lain, lapis pondasi bergradasi padat seperti beton kurus dapat menjebak air diantara permukaan lapis pondasi dan dasar lapis permukaan. Adanya beban berulang pada lapis pondasi dapat menyebabkan terbentuknya rongga diantara bagian permukaan lapis pondasi dan bagian dasar lapis pelat beton (erosi).

Pada dunia konstruksi saat ini teknologi beton telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Beton berpori telah digunakan secara luas untuk berbagai tujuan, khususnya di negara berkembang. Beton berpori memiliki sifat permeabilitas yang tinggi dan rongga yang saling berhubungan sehingga mudah ditembus oleh air. Beton berpori bergradasi senjang dan tidak membutuhkan terlalu banyak material penyusun. Untuk dapat mengatasi permasalahan erosi dibutuhkan lapisan pondasi dengan kemampuan drainase seperti beton berpori.

Studi ini bertujuan mempelajari karakteristik beton berpori dan juga mengembangkan model *flexural-fatigue* beton berpori sebagai lapis pondasi struktur perkerasan kaku. Dua aspek utama yang dikaji adalah kinerja properti material dan kinerja sistem perkerasan. Kinerja properti material difokuskan pada penentuan komposisi gradasi beton berpori yang mampu memenuhi kriteria minimum lapisan pondasi dan lapisan drainase. Kinerja sistem perkerasan difokuskan pada pengembangan model *flexural-fatigue* beton berpori sebagai lapis pondasi dalam kondisi *unbonded* dan kondisi *bonded* menggunakan sistem *2-layer*. Dalam kondisi *bonded*, kapasitas struktural dari beton berpori dimanfaatkan untuk

memperkuat beton semen. Sistem *2-layer* dipilih dalam pengembangan model *flexural-fatigue* karena beton berpori ditempatkan sebagai lapisan pondasi..

Studi ini dilakukan menggunakan pendekatan uji laboratorium. Uji laboratorium dibatasi pada uji kuat tekan, uji *void content*, uji permeabilitas, uji modulus elastisitas, uji tingkat heterogenitas, uji kuat geser, uji kuat lentur dan uji repetisi *fatigue*. Benda uji hanya difokuskan pada variasi gradasi agregat menggunakan rasio air semen sebesar 0,30 dan rasio agregat semen sebesar 4,0. Uji *fatigue* repetisi dibatasi pada benda uji balok satu lapis dan balok dua lapis. Keruntuhan akibat geser pada balok dua lapis kondisi *bonded* diasumsikan terjadi pada lapisan *interface*. Pengembangan model *flexural-fatigue* difokuskan pada sistem *2-layer*. Pada kedua model hasil pengembangan diasumsikan tidak terjadi penyumbatan pada lapisan beton berpori.

Permeabilitas vertikal rata-rata beton berpori dengan variasi agregat bergradasi seragam dan bergradasi menerus bernilai  $\pm 15$  kali lebih tinggi dari persyaratan minimum. Tingkat heterogenitas 1-dimensi dengan faktor ketidakteraturan rata-rata sebesar 1,8% menunjukkan bahwa beton berpori mampu untuk memberikan keseragaman daya dukung pada struktur perkerasan kaku. Komposisi gradasi beton berpori yang tersusun dari tiga jenis ukuran agregat, yaitu 19,0 mm – 12,7 mm dengan persentase  $\leq 25\%$ ; 9,5 mm dengan persentase  $\geq 65\%$ ; 4,75 mm – 2,36 mm dengan persentase  $\leq 25\%$  mampu menghasilkan modulus elastisitas dan kuat lentur diatas 13.300 MPa dan 2,1 MPa pada umur 28-hari. Pada kemiringan 2% - 8%, permeabilitas horizontal rata-ratanya bernilai  $\pm 3,5$  kali lebih tinggi dari persyaratan minimum. Dari 100% pori totalnya, terdapat pori yang saling terkoneksi sebesar 71%. Hasil uji properti mekanis menunjukkan bahwa beton berpori pada studi ini dapat direkomendasikan untuk menggantikan beton kurus sebagai lapisan pondasi dan agregat kelas A sebagai lapisan drainase pada struktur perkerasan kaku. Namun, adanya potensi penyumbatan yang terjadi pada beton berpori tetap harus diperhatikan.

Perilaku *flexural-fatigue* yang diwakili oleh parameter rasio tegangan, jumlah repetisi *fatigue*, regangan lentur, *flexural stiffness* dan progress peningkatan retak menunjukkan bahwa balok dua lapis kondisi *bonded* memiliki ketahanan *fatigue* yang lebih baik dibandingkan balok satu lapis beton berpori dan balok dua lapis kondisi *unbonded*. Berdasarkan pendekatan tegangan geser ultimit, kondisi *interface* dari balok dua lapis kondisi *bonded* terletak pada kondisi *intermediate case* ( $0,1 \text{ MPa} < \tau < 10 \text{ MPa}$ ). Konsep energi disipasi juga dapat digunakan sebagai indikator dari respon *fatigue* balok dua lapis kondisi *bonded*.

Dalam pengembangan model *flexural-fatigue* beton berpori sistem *2-layer*, parameter rasio tegangan dan parameter tingkat heterogenitas 1-dimensi berpengaruh terhadap umur *fatigue* kondisi *unbonded*, sedangkan parameter rasio tegangan dan parameter *void content* berpengaruh terhadap umur *fatigue* kondisi *bonded*. Model *flexural-fatigue* beton berpori hasil pengembangan dari sistem *2-layer* dalam kondisi *bonded* dapat dimanfaatkan untuk memprediksi umur *fatigue* dari model perkerasan kaku yang menggunakan beton semen sebagai lapis permukaan dan beton berpori sebagai lapis pondasi dengan rasio kuat lentur sebesar

2,1. Namun, dibutuhkan batasan rasio tegangan maksimum agar dapat menghasilkan repetisi *fatigue* minimum untuk jalan raya. Berdasarkan hasil simulasi model mekanistik, kekuatan *bonding* lapisan *interface* memegang peran penting terhadap nilai umur *fatigue* dari perkerasan kaku sistem *2-layer*.

Kata kunci: beton berpori, lapisan pondasi, keruntuhan *fatigue*, sistem *2-layer*, perkerasan kaku.



## **ABSTRACT**

# **CHARACTERISTIC STUDY AND FLEXURAL-FATIGUE MODEL DEVELOPMENT OF PERVIOUS CONCRETE FROM 2-LAYER SYSTEM AS RIGID PAVEMENT BASE LAYER IN INDONESIA**

Oleh  
**FRISKY RAMC**  
**NIM: 35014301**  
**(Program Studi Doktor Teknik Sipil)**

In the mechanistic model approach, rigid pavement is designed based on the material strength and load safety factor using two failure criteria. One of the failure criteria is fatigue failure. The fatigue failure is influenced by edge loading, subgrade support, material strength, curling stress and the number of fatigue repetition. A granular base layer frequently becomes saturated during the rain and after the rain. This saturated condition causes a movement that can decrease the base layer support. On the other hand, dense-graded base layer like lean concrete can trap water between the base layer surface and surface layer base. The appearance of repeated loading on the base layer can generate a void between the base layer surface and surface layer base (erosion).

In the construction world today, concrete technology has been growing rapidly. Pervious concrete has been widely used for several purposes, especially in developing countries. Pervious concrete has high permeability and inter-connected pore so that it can allow water to surpass through. It also has an open-graded gradation and does not need too many material properties. A base layer with good drainage ability like pervious concrete was needed to tackle the erosion problem.

The aim of this research was to study the pervious concrete characteristic and also developing the pervious concrete flexural-fatigue model as a rigid pavement base layer. Two main aspects that discussed were material properties performance and pavement system performance. The performance of material properties was focused on the pervious concrete gradation proportion that can fulfill the minimum criteria of base layer and drainage layer. The performance of the pavement system was focused on pervious concrete flexural-fatigue development using a 2-layer system for unbonded and bonded condition. On bonded condition, the structural capacity of pervious concrete was utilized to support the cement concrete. 2-layer system was chosen in the flexural-fatigue model development because the pervious concrete was placed as the base layer.

This study was conducted using a laboratory test approach, i.e. compressive strength, void content, permeability, elastic modulus, heterogeneity level, shear strength, flexural strength, and fatigue repetition. The specimen was only focused on the variation of aggregate gradation using w/c 0.30 and a/c 4.0. The fatigue test was restricted to 1-layer and 2-layer concrete beam. The shear failure on the 2-layer beam with the bonded condition was assumed happening on the interface layer. The flexural-fatigue model development was focused on a 2-layer system. On both developed models, clogging was assumed not happening on the pervious concrete layer.

The average value of pervious concrete vertical permeability with uniform and continuous gradation was  $\pm 15$  higher than the minimum requirement. 1-dimension heterogeneity level with the coefficient of variance 1.8% showed that pervious concrete could give uniform support to the rigid pavement. The gradation composition of pervious concrete that consists of 3 aggregate size, i.e. 19,0 mm – 12,7 mm with percentage  $\leq 25\%$ ; 9.5 mm with percentage  $\geq 65\%$ ; 4,75 mm – 2,36 mm with percentage  $\leq 25\%$ , could produce elastic modulus and flexural strength above 13,300 MPa and 2.1 MPa at the age of 28-days. On a 2% - 8% slope, its horizontal permeability was valued  $\pm 3.5$  higher than the minimum requirement. From 100% of the total pore, there was 71% inter-connected pore. The mechanical properties test result showed that pervious concrete could be recommended to replace lean concrete and class A aggregate as rigid pavement base layer and drainage layer. However, the potency of clogging on pervious concrete layer still must be considered.

Flexural-fatigue behavior that represented by stress ratio, number of fatigue repetition, flexural strain, flexural stiffness, and cracking progress showed that the 2-layer beam with the bonded condition had a better fatigue resistance than 1-layer beam and 2-layer beam with the unbonded condition. Based on the ultimate shear stress approach, the interface condition of the 2-layer beam with the bonded condition was located on the intermediate case condition ( $0,1 \text{ MPa} < \tau < 10 \text{ MPa}$ ). The dissipated energy could also be used as an indicator of the fatigue response of the 2-layer beam with the bonded condition.

In the development of 2-layer system flexural-fatigue model, the unbonded condition fatigue life was influenced by stress ratio and 1-dimension heterogeneity level, whereas the bonded condition fatigue life was influenced by stress ratio and void content. The pervious concrete flexural-fatigue model of the 2-layer system with the bonded condition could be utilized to predict the fatigue life of a rigid pavement model that uses cement concrete as a surface layer and pervious concrete as a base layer by flexural strength ratio 2.1. However, the maximum stress ratio limit was needed in order to produce a minimum fatigue repetition for a highway. Based on the mechanistic model simulation, the bond strength of the interface layer had a crucial effect against the fatigue life of the 2-layer system rigid pavement.

Keywords: pervious concrete, base layer, fatigue failure, 2-layer system, rigid pavement.