

# FRIKSI ANTARA PERMUKAAN BETON *SPUN PILE* BAGIAN DALAM DENGAN BETON PENGISI

Fredrick Wahyu Christianto<sup>1</sup>, Rich Ferson<sup>2</sup>, Gogot Setyo Budi<sup>3</sup>, dan Hurijanto Koentjoro<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** *Spun pile* adalah tiang pancang berbentuk bulat dan berongga pada bagian tengah. Metode pembuatan *spun pile* adalah memanfaatkan gaya sentrifugal untuk proses pemadatan beton, yaitu dengan cara diputar (*spinning*), sehingga ada kemungkinan akan menimbulkan kuat tekan yang tidak merata pada ketebalan dinding tiang. Selain itu, pada permukaan bagian dalam lubang *spun pile*, biasanya terdapat lapisan yang relatif lunak (*slurry*). Terdapatnya lapisan *slurry* tersebut kemungkinan akan mempengaruhi friksi dengan beton pengisi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari friksi antara beton bagian dalam *spun pile* dengan beton baru sebagai pengisi. Hasil penelitian pada permukaan beton *spun pile* bagian dalam dengan beton pengisi dengan lapisan *slurry* yang tipis menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan semen beton pengisi, friksi antara *spun pile* dan beton pengisi akan meningkat. Namun, pengaruh kandungan semen tersebut relatif tidak signifikan pada *spun pile* yang memiliki lapisan *slurry* yang tebal. Friksi terendah rata-rata antara beton *spun pile* bagian dalam dengan beton pengisi yang memiliki lapisan *slurry* dengan ketebalan sekitar 3 mm adalah 11,87 kg/cm<sup>2</sup>.

**KATA KUNCI:** *spun pile*, friksi, beton pengisi, kandungan semen

## 1. PENDAHULUAN

Pondasi merupakan salah satu bagian struktural pada bangunan. Pondasi berfungsi untuk menahan beban-beban yang disalurkan oleh kolom dan menjaga agar bangunan tetap berdiri tegak. Tiang pancang beton memiliki berbagai macam variasi pembuatan. Salah satu cara pembuatan tiang pancang beton adalah dengan cara diputar. Tiang pancang seperti ini disebut dengan *spun pile*. *Spun pile* sendiri memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Di Indonesia, sebagian besar *spun pile* yang ada di pasaran memiliki kekuatan K600. Kualitas dari *spun pile* cukup tinggi karena *quality control* yang baik. *Spun pile* dibuat di pabrik sehingga material-material penyusun *spun pile* jugadapat dijaga kualitasnya. Pemancangan *spun pile* juga sangat fleksibel. *Spun pile* dapat dimasukkan ke dalam tanah dengan berbagai cara.

Disamping kelebihan-kelebihan tersebut, *spun pile* juga memiliki kelemahan. *Spun pile* yang dibuat dengan cara diputar dapat menyebabkan kuat tekan yang tidak merata. Pada bagian permukaan lubang *spun pile* juga sering didapati lapisan beton yang lunak (*slurry*). Padahal, cara untuk menghubungkan *spun pile* dengan *pile cap* adalah dengan memasukkan anker ke lubang *spun pile* dan kemudian dicor. Hal ini menyebabkan kekuatan friksi antara beton pengisi dengan lapisan lunak beton harus diperhatikan. Kekuatan geser friksi yang tinggi akan menyebabkan beton dan *spun pile* melekat dengan baik. Kelekatan yang baik ini akan membuat *spun pile* dapat menahan beban yang bekerja dengan baik. Selain itu, yang harus diperhatikan adalah kandungan semen pada beton yang dicor. Kandungan semen yang tinggi belum tentu akan berdampak besar pada friksi dengan *spun pile*. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai pengaruh kandungan semen terhadap kekuatan *spun pile*. Penelitian ini dilakukan dengan cara menguji kekuatan geser friksi antara beton dengan permukaan dalam *spun pile*.

---

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, fredrickwct@gmail.com

<sup>2</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, ferson.rich@yahoo.com

<sup>3</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, gogot@peter.petra.ac.id

<sup>4</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, hurijanto@peter.petra.ac.id

## 2. LANDASAN TEORI

Lekatan antara permukaan beton pernah diteliti oleh Shin dan Wan pada tahun 2010. Pada penelitian ini, dilakukan pada permukaan beton lama yang dihaluskan dengan amplas supaya permukaan rata. Beton lama yang diteliti ada 2 macam, yaitu dalam kondisi SSD (direndam pada air selama 1 hari, lalu dikeluarkan dan dilap permukaannya sebelum dicor beton baru) dan dalam kondisi dibiarkan mengering begitu saja pada kelembapan 50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dalam kondisi SSD memiliki kekuatan lekatan (*bonding*) yang lebih besar daripada yang dibiarkan mengering (Shin dan Wan, 2010). Besar kekuatan lekatan untuk beton dengan rasio w/c sebesar 0,45 adalah 10,6 kg/cm<sup>2</sup> untuk keadaan normal dan 18,97 kg/cm<sup>2</sup> untuk keadaan SSD. Untuk rasio w/c sebesar 0,6 memiliki kekuatan lekatan sebesar 18,55 kg/cm<sup>2</sup> untuk keadaan normal dan 34,11 kg/cm<sup>2</sup> untuk keadaan SSD. Penggunaan *silica fume* juga meningkatkan kuat tekan dan lekatan (*bonding*) pada permukaan. Hal ini dikarenakan *silica fume* akan mengurangi pori-pori dan kadar kalsium hidroksida pada beton (Shin dan Wan, 2010). Penambahan material *silica fume* sebesar 7% membuat kekuatan lekatan pada beton dengan rasio w/c sebesar 0,45 menjadi 36,48 kg/cm<sup>2</sup> untuk keadaan normal dan 53,99 kg/cm<sup>2</sup> untuk keadaan SSD.

Penelitian dengan metode *slant shear test* dan *pull-off test* pernah dilakukan Julio et al pada tahun 2004. Julio dan kawan-kawan meneliti 5 tipe kondisi permukaan beton lama, yaitu *as-cast against steel formwork*, *wire-brushing*, *partially chipped*, *partially chipped and pre-wetted*, dan juga *sand-blasting*. Hasil dari pengujian *slant shear test* dan *pull-off test* yang dilakukan Julio et al dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1 Hasil Pengujian oleh Julio et al**

Kondisi Permukaan	<i>Slant Shear Test</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	<i>Pull-Off Test</i> (kg/cm <sup>2</sup> )
<i>As-cast against steel formwork</i>	13,26	-
<i>Wire-brushing</i>	108,8	19,58
<i>Partially chipped</i>	63,63	14,99
<i>Partially chipped and pre-wetted</i>	67,71	10,4
<i>Sand-blasting</i>	144,09	27,02

Berdasarkan hasil *slant shear test* dan *pull-off test*, permukaan beton lama yang menggunakan metode *sand-blasting* memiliki nilai tertinggi untuk kekuatan lekatan geser dan tarik dibandingkan metode lainnya (Julio et al, 2004). Kesimpulan lain yang didapat dari penelitian ini adalah tingkat kelembapan permukaan beton tidak terlalu signifikan untuk permukaan yang dilakukan *partially chipped*. Selain itu, ada hubungan linier antara hasil pengujian *slant shear test* dan *pull-off test*. Korelasi yang bagus ini membuat *pull-off test* dapat dilakukan *in-situ* untuk mengecek kekuatan lekatan beton.

Penelitian mengenai lekatan antara beton lama dan beton baru juga pernah dilakukan oleh Momayez et al dengan metode *bi-surface shear test*. Keuntungan dari pengujian ini adalah beban dapat diaplikasikan secara simetris (Momayez et al, 2004). Pada penelitian ini, dibuat 2 macam kekasaran permukaan spesimen, yaitu rendah dan tinggi. Selain itu, terdapat 3 macam ukuran agregat, yaitu 4,75 mm, 10mm, dan 16mm. Untuk pembuatan beton baru, Momayez et al membuat beberapa macam variasi, yaitu 0% *silica fume* (SF), 5% SF, 7% SF, 10% SF, K100 adhesif polimer (K100) dan *styrene butadiene resin* (SBR), serta beton yang dicor monolit. Penelitian dari Momayez et al yang cocok dengan penelitian ini adalah pada kondisi 0% SF Hasil pengujian yang dilakukan Momayez dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2 Hasil Pengujian oleh Momayez**

Beton Baru	Ukuran Agregat (mm)	Kekasaran	Kekuatan Lektan			
			14 hari		28 hari	
			150mm	200mm	150mm	200mm
0% SF	4,75	Rendah	16,89	-	25,01	-
		Tinggi	21,50	-	31,26	-
	10	Rendah	18,43	16,02	26,33	23,70
		Tinggi	23,37	20,95	32,91	29,84
	16	Rendah	19,64	17,00	27,64	24,90
		Tinggi	23,59	23,04	34,56	31,15

Terlihat bahwa semakin besar ukuran spesimen, kekuatan lekatan akan menurun (Momayez et al, 2004). Kesimpulan lain yang didapat adalah semakin besar ukuran agregat, kekuatan lekatan akan sedikit meningkat (Momayez et al, 2004).

Namun, pada penelitian ini, pengisian *spun pile* dengan beton pengisi, permukaan bagian dalam *spun pile* dibiarkan apa adanya, tidak diperlakukan seperti penelitian-penelitian yang sebelumnya, sehingga ada kemungkinan hasilnya akan berbeda. Selain itu, penelitian ini juga menyelidiki pengaruh dari kandungan semen beton pengisi terhadap gesekan dengan permukaan bagian dalam *spun pile* yang belum banyak dipublikasikan.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

*Spun pile* yang dijadikan sampel memiliki diameter luar 30 cm dengan diameter lubang bervariasi antara 13-15 cm. *Spun pile* kemudian dipotong dengan *concrete cutter* sehingga memiliki panjang sekitar 25 cm. Jumlah sampel yang didapat ada 15 buah. Dengan kata lain, semua sampel diambil dari *spun pile* yang sama. Contoh hasil sampel *spun pile* ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Contoh Sampel *Spun Pile*



**Gambar 2** Gradasi Warna pada *Spun Pile*

Sampel *spun pile* digolongkan menjadi 3 macam, yaitu yang dinding bagian dalamnya terdapat lapisan *slurry* yang tipis (diberi lambang A), lapisan *slurry* yang sedang (diberi lambang B), dan lapisan *slurry* yang tebal (diberi lambang C). Penggolongan sampel ini dilakukan hanya secara visual dan diamati dari tampak atas saja. Cara untuk mengetahui ketebalan lapisan *slurry* adalah dengan menyiramkan air pada *spun pile*. Setelah disiram air, muncul gradasi warna pada sampel *spun pile*. Lapisan *slurry* terlihat lebih terang seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Selanjutnya, golongan-golongan tersebut diisi dengan beton pengisi. Beton pengisi terdiri dari 3 macam kandungan semen berbeda. Masing-masing diisi beton dengan kandungan semen sebesar 350 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup>, dan 450 kg/m<sup>3</sup>.

Selanjutnya, dilakukan pengujian kerikil dan pasir yang berguna untuk *mix design*. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM. Setelah pengujian material, beton yang diisikan ke *spun pile* dibuat. Sebelum pengecoran, pada bagian bawah *spun pile* dimasukkan gabus setebal 2 cm seperti yang

ditunjukkan pada **Gambar 3**. Hal ini bertujuan agar pada saat pengecoran, beton yang masih cair tidak meluber keluar dari *spun pile*. Gabus ini akan dikeluarkan pada saat pengujian friksi. *Mix design* yang digunakan sesuai standar DOE. Setelah melakukan *mix design*, pengecoran dilakukan dengan menggunakan molen. *Spun pile* yang terisi beton tersebut dibiarkan begitu saja, artinya tidak dilakukan proses *curing*. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan dengan kondisi di lapangan karena tidak memungkinkan untuk melakukan proses *curing* tiang pancang di lapangan. Beton yang direncanakan adalah dengan kandungan semen 350 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup>, dan 450 kg/m<sup>3</sup>. Khusus untuk beton dengan kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup>, digunakan *superplasticizer* (Sika Viscocrete 1003) sebanyak 1% dari berat semen yang dibutuhkan. Selain itu, *vibrator* digunakan untuk memadatkan beton dengan kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup>.

Berikutnya, dibuat benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji dibuat masing-masing sebanyak 6 buah. Jadi, total benda uji yang dibuat adalah 18 buah. Benda uji kemudian *dicuring* selama 7, 14, dan 28 hari dengan masing-masing hari sebanyak 2 benda uji. Kemudian dilakukan tes kuat tekan pada hari-hari tersebut.



**Gambar 3** Gabus Dimasukkan pada Bagian Bawah *Spun Pile*



**Gambar 4** Plat Diletakkan di Bagian Atas *Spun Pile*

Seluruh *spun pile* yang telah diisi beton diuji friksinya dengan mesin kuat tekan beton. Pada bagian atas beton pengisi, diberikan plat dengan diameter 12,5 cm dan tebal 1 cm, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Hasil kuat tekan yang terbaca digunakan untuk perhitungan friksi ( $\tau$ ) antara dinding bagian dalam *spun pile* dengan beton pengisi. Rumus yang digunakan adalah :

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

$\tau$  = kuat friksi (kg/cm<sup>2</sup>)

P = kuat tekan beton pengisi (kN)

A = luas selimut beton pengisi (cm<sup>2</sup>)

Setelah perhitungan, hasil friksi *spun pile* yang menggunakan beton pengisi dengan kandungan semen 350 kg/m<sup>3</sup> dibuat grafik. Hal yang sama juga dilakukan untuk *spun pile* yang diisi beton pengisi dengan kandungan semen 400 kg/m<sup>3</sup> dan kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup>. Hasil pengujian friksi untuk masing-masing kandungan semen beton pengisi digabungkan sehingga diperoleh hubungan tentang pengaruh ketebalan *slurry* terhadap friksi dengan beton pengisi. Pengaruh ketebalan *slurry* pada dinding bagian dalam *spun pile* dianalisa dengan membandingkan sampel masing-masing kategori (tipis, sedang, dan tebal).

#### 4. HASIL PENELITIAN

*Mix design* yang digunakan menggunakan standar DOE. Hasil *mix design* untuk benda uji dan tiang pancang disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4. *Mix Design* untuk Benda Uji dan Tiang Pancang**

Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Superplasticizer(ml)
20,5	12,1	37,1	68,9	-
23,3	12,1	40,1	74,4	-
26,9	6,1	38,8	72,1	270

Pada **Tabel 5** terlihat bahwa kekuatan kokoh tekan benda uji secara umum meningkat sesuai dengan penambahan umur.

**Tabel 5 Hasil Kuat Tekan Benda Uji**

Benda Uji	Umur (Hari)	Kandungan Semen (kg/m <sup>3</sup> )		
		350	400	450
1	7	142,5	166,8	340,5
2	7	149,4	236,3	333,6
3	14	111,2	250,2	430,9
4	14	180,7	253,7	347,5
5	28	191,1	284,9	333,6
6	28	250,2	278	556

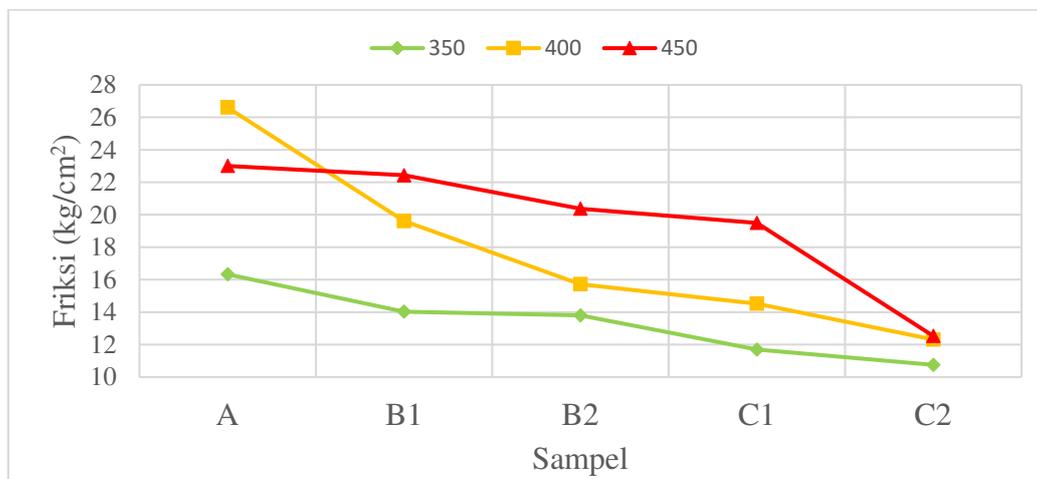
**Tabel 6** dan **Gambar 6** merupakan gabungan gaya geser (P) yang diperlukan untuk terjadinya pergerakan (slip) dan friksi yang terjadi antara beton pengisi dan *spun pile*.

Data pada **Tabel 6** menunjukkan bahwa rata-rata gaya geser yang diperlukan akan meningkat jika kandungan semen beton pengisi semakin tinggi. Pada **Tabel 6**, terlihat bahwa beton pengisi dengan kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup> memiliki rata-rata gaya geser yang lebih tinggi daripada beton pengisi dengan kandungan semen 400 kg/m<sup>3</sup> dan beton pengisi dengan kandungan semen 350 kg/m<sup>3</sup>.

Pada **Tabel 6** dan **Gambar 6** juga terlihat pengaruh ketebalan *slurry*, dimana lapisan *slurry* yang tebal akan menurunkan gaya geser yang diperlukan, untuk beton pengisi dengan kandungan semen 350 kg/m<sup>3</sup>, gaya geser yang diperlukan golongan A (lapisan *slurry* tipis) lebih tinggi daripada yang diperlukan golongan B (lapisan *slurry* sedang) dan yang diperlukan golongan C (lapisan *slurry* tebal). Hal yang sama juga berlaku untuk beton pengisi dengan kandungan semen 400 kg/m<sup>3</sup> dan beton pengisi dengan kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup>. Informasi lain yang bisa didapat adalah semakin tebal lapisan *slurry*, perbedaan gaya geser antara mutu beton pengisi tidak berbeda jauh. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh kerusakan (slip) yang terjadi pada material *slurry* yang relatif lebih lemah. Dengan kata lain, pengaruh kandungan semen terhadap kekuatan material *slurry* tidak signifikan.

**Tabel 6 Gabungan Friksi antara *Spun Pile* dengan Beton Pengisi Mutu**

Jenis Sampel	Kandungan semen Beton Pengisi			
	350	400	450	
A	P (kN)	170	275	230
	A (cm <sup>2</sup> )	1040.97	1033.58	999.78
	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	16.3	26.6	23.0
B1	P (kN)	145	200	220
	A (cm <sup>2</sup> )	1033.58	1020.04	980.87
	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	14.0	19.6	22.4
B2	P (kN)	140	160	200
	A (cm <sup>2</sup> )	1014.48	1017.88	981.90
	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	13.8	15.7	20.4
C1	P (kN)	120	150	190
	A (cm <sup>2</sup> )	1026.20	1032.96	974.52
	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	11.7	14.5	19.5
C2	P (kN)	110	120	130
	A (cm <sup>2</sup> )	1023.15	974.52	1037.26
	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	10.8	12.3	12.5



**Gambar 6 Gabungan Grafik Friksi antara *Spun Pile* dengan Beton Pengisi**

Data di atas menunjukkan bahwa rata-rata friksi ( $\tau$ ) sampel akan meningkat jika kandungan semen beton pengisi semakin tinggi. Pada **Tabel 6** dan **Gambar 6**, terlihat bahwa beton pengisi dengan kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup> memiliki rata-rata friksi yang lebih tinggi daripada beton pengisi dengan kandungan semen 400 kg/m<sup>3</sup> dan beton pengisi dengan kandungan semen 350 kg/m<sup>3</sup>.

Pada **Tabel 6** dan **Gambar 6** juga terlihat pengaruh ketebalan *slurry*. *Slurry* yang tebal akan menurunkan friksi. Terlihat bahwa pada beton pengisi kandungan semen 350 kg/m<sup>3</sup>, friksi sampel A lebih tinggi daripada sampel B dan sampel C. Hal yang sama juga berlaku untuk beton pengisi kandungan semen 400 kg/m<sup>3</sup> dan beton kandungan semen 450 kg/m<sup>3</sup>.

Informasi lain yang bisa didapat adalah semakin tebal lapisan *slurry*, friksi antar kandungan semen beton pengisi tidak berbeda jauh. Pada sampel A, terlihat perbedaan friksi yang cukup jauh antar kandungan

semen beton pengisi. Sedangkan pada sampel C, friksi antar kandungan semen beton pengisi hanya berbeda sedikit.

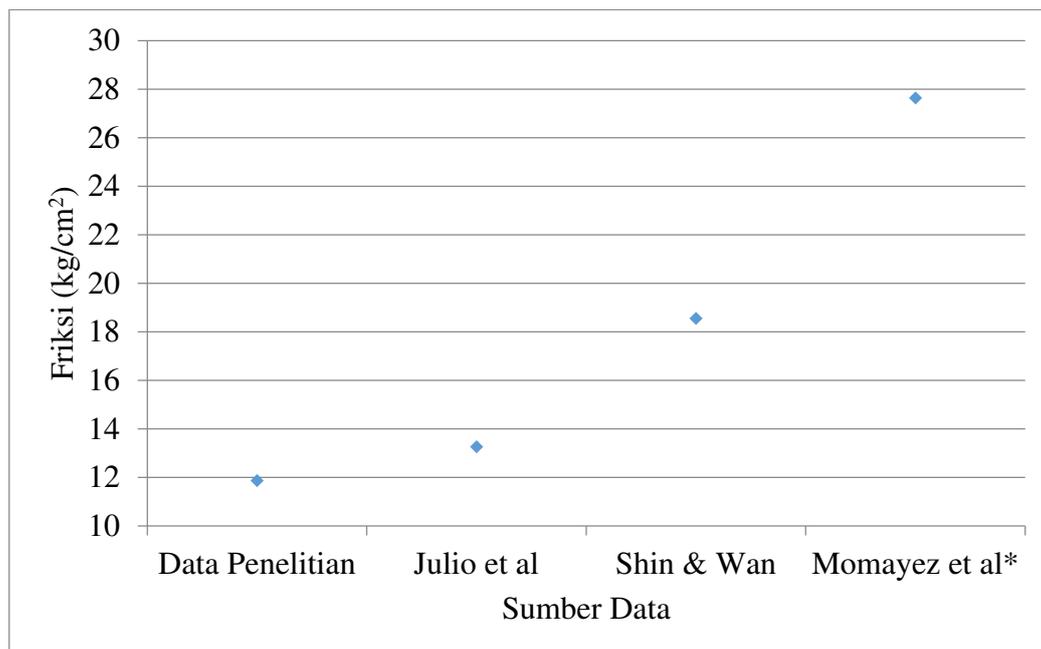
Kejadian-kejadian di atas terjadi karena lapisan *slurry* merupakan lapisan yang lemah. Lapisan *slurry* akan hancur terlebih dahulu pada saat dilakukan penekanan pada beton pengisi. Lapisan *slurry* menghambat penetrasi semen ke dinding *spun pile* sehingga friksi akan menurun jika lapisan *slurry* tebal. Berdasarkan hasil studi awal ini diperoleh informasi friksi terendah antara beton pengisi dengan dinding bagian dalam *spun pile* yang terdapat lapisan *slurry* dengan ketebalan sekitar 3 mm dimana jika friksi tersebut dirata-rata, akan menghasilkan friksi sebesar 11,87 kg/cm<sup>2</sup>.

Hasil friksi terendah dari penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil friksi dari penelitian-penelitian sebelumnya, dimana permukaan beton lama tidak diberi perlakuan khusus (tidak dikasarkan), seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 7** dan **Gambar 7**.

**Tabel 7 Perbandingan Uji Friksi**

Sumber Data	Friksi (kg/cm <sup>2</sup> )
Data Penelitian	11,87
Santos et al	13,25
Julio et al	13,26
Shin & Wan	18,55
Momayez et al*	27,64

\* : Permukaan dikasarkan dengan *steel-wire*



**Gambar 7 Grafik Perbandingan Uji Friksi**

Secara umum, pada penelitian-penelitian di atas, rasio w/c yang digunakan sekitar 0,46 sehingga menghasilkan rata-rata friksi sekitar 13,2 kg/cm<sup>2</sup> seperti yang dilakukan Santos et al dan Julio et al. Penambahan rasio w/c meningkatkan friksi antara beton lama dan beton baru seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Shin dan Wan (rasio w/c = 0,6). Lapisan *slurry* yang terdapat pada bagian dalam *spun pile* menyebabkan friksi antara beton dengan beton menjadi lebih lemah. Sebaliknya, menghilangkan lapisan *slurry* atau dengan kata lain membuat permukaan beton lebih kasar meningkatkan friksi antara beton lama dengan beton baru seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Momayez et al.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapat adalah semakin besar kandungan semen, maka semakin tinggi pula friksi yang dapat dihasilkan pada *spun pile* dengan lapisan *slurry* yang relatif tipis. Selain itu, semakin tipis lapisan *slurry*, maka semakin tinggi friksi yang didapatkan. Hal yang juga didapat adalah semakin tebal lapisan *slurry*, perbedaan kandungan semen kurang berpengaruh atau kurang signifikan terhadap friksi. Untuk penelitian selanjutnya, penambahan sampel berupa variasi diameter *spun pile* dan ketebalan lapisan *slurry* perlu dilakukan.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Julio, E.N.B.S., Branco, F.A.B, dan Silva, V.D. (2004). Concrete-to-Concrete Bond Strength. Influence of the Roughness of the Substrate Surface. *Construction and Building Materials*, 18, 675-681.
- Momayez, A., et al. (2004). Bi-Surface Shear Test for Evaluating Bond between Existing and New Concrete. *ACI Material Journal*, Vol. 101, No. 2, March-April 2004, 99-106.
- Shin, H.C., dan Wan, Z. (2010). Interfacial Shear Bond Strength Between Old and New Concrete. *Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*. Proceedings of FraMCoS-7, Jeju, South Korea, May 23-28, 1195-1200.