

KORELASI NILAI CPT DAN SPT PADA LOKASI RING ROAD UTARA YOGYAKARTA

Sumiyati Gunawan

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
E-mail: sumiyatig@yahoo.co.id
sumiyatig@staff.auajy.ac.id

ABSTRAK

Penetrometer yang dipakai pada umumnya di Yogyakarta adalah alat sondir (*Dutch Penetrometer*), yaitu suatu alat statis yang berasal dari Negeri Belanda. *Alat Cone Penetration Test* (CPT) (Bowles, 1988) dengan pengukuran nilai konus mencapai 450 kg/cm^2 , sering terjadi kendala ketika ditemukan kayu dan batuan atau lapisan tanah yang padat (tetapi lapisan ini relatif tipis) atau karena kedalaman telah melebihi 20 meter, karena kendala tenaga manusia yang melaksanakannya. Dengan *Standard Penetration Test* (SPT) (Terzaghi, 1996), suatu percobaan dinamis yang berasal dari Amerika Serikat (di lapangan sering disebut "Bor Mesin"). Alat ini, disatu sisi memungkinkan untuk mencapai kedalaman sesuai dengan yang kita kehendaki, bahkan dapat mencapai kedalaman lebih dari 100 meter dan dapat menembus lapisan kayu ataupun tanah yang relatif padat bahkan batuan. Namun disisi lain hasil percobaan SPT ini selalu dianggap perkiraan kasar saja, bukan nilai-nilai yang teliti. Umumnya hasil percobaan CPT dapat dipercaya daripada hasil percobaan SPT tersebut. Dalam tulisan ini dilakukan kajian korelasi nilai hasil percobaan "*Soil Investigation*" antara alat CPT dan SPT. Percobaan dilakukan pada 10 lokasi di Daerah Ring Road Utara Yogyakarta, sehingga dapat diperoleh korelasi dengan menggunakan kedua jenis alat tersebut. Untuk mendapatkan nilai korelasi, dilakukan dengan pendekatan "*Regresi Linier*" terhadap data dengan bantuan microsoft excel. Sebagai referensi dari Terzaghi dan Peek, korelasi nilai q_c (CPT) dengan N_{SPT} (SPT) untuk tanah lempung = 2,5 dan untuk tanah pasir = 4.

Kata kunci: korelasi, *cone penetration test*, *standard penetration test*

1. PENDAHULUAN

Penetrometer yang dipakai pada umumnya di Yogyakarta adalah alat sondir (*Dutch Penetrometer / Dutch Deep Sounding Aparatus*), yaitu suatu alat statis yang berasal dari Negeri Belanda. *Alat Cone Penetration Test* (CPT) (Bowles, 1988) berat dengan pengukuran nilai konus bisa mencapai 450 kg/cm^2 , ini sering terjadi hambatan sehingga penyondiran harus diberhentikan ketika ditemukan kayu dan batuan atau lapisan tanah yang padat (tetapi lapisan ini relatif sempit) atau berhenti karena kedalaman telah melebihi 20 meter, karena kendala tenaga manusia yang melaksanakannya.

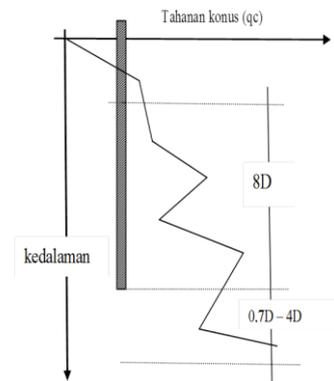
Dengan *Standard Penetration Test* (SPT) (Terzaghi, 1996), suatu percobaan dinamis yang berasal dari Amerika Serikat (di lapangan sering disebut "Bor Mesin"). Dengan menggunakan alat ini, disatu sisi memungkinkan untuk mencapai kedalaman sesuai dengan yang kita kehendaki juga dapat mencapai kedalaman lebih dari 100 meter dan dapat menembus lapisan kayu ataupun tanah yang relatif padat. Namun disisi lain hasil percobaan SPT ini selalu dianggap perkiraan kasar saja, bukan nilai-nilai yang teliti. Umumnya hasil percobaan CPT seperti alat sondir dapat dipercaya daripada hasil percobaan SPT tersebut.

2. PERUMUSAN MASALAH

Pada umumnya bangunan diatas empat lantai pondasinya dirancang dengan data CPT ditambah dengan data Standard Penetration Test (SPT). Dalam penelitian ini akan menghubungkan nilai hasil alat CPT dan SPT. Penelitian dilakukan pada 6 (Enam) lokasi di Daerah Ring Road Utara Yogyakarta, sehingga dapat diperoleh Korelasi dengan menggunakan kedua jenis alat tersebut.

3. TINJAUAN PUSTAKA

Cone penetration Test (CPT) adalah suatu pengujian tanah langsung di lapangan yang cukup banyak dipakai di Indonesia. Kegunaan dari data sondir ini salah satunya untuk menganalisis daya dukung tiang. Bentuk dari alat sondir ini mirip dengan tiang sehingga pola keruntuhan tanah pada saat alat sondir ini menembus tanah serupa dengan pola keruntuhan tanah akibat pemancangan tiang. Sampai sekarang masih diakui bahwa analisis daya dukung tiang pancang dengan menggunakan data sondir ini masih merupakan metode yang terbaik dibanding metode-metode yang lain. *Schmertmann dan Nottingham (1975)* mengembangkan metode ini dengan alasan bahwa pada cara statik membutuhkan parameter-parameter tanah yang pada umumnya tidak tersedia secara kontinyu dan konsisten sepanjang tiang untuk mewakili suatu lapisan tanah yang memiliki kuat geser dengan suatu rentang harga tertentu. Metoda berdasarkan data lapangan, sondir sebagai contoh, dapat memperoleh data yang kontinyu sepanjang tiang. Metode yang dikembangkan oleh Schmertmann dan Nottingham ini hanya berlaku untuk pondasi tiang pancang. Daya dukung ujung tiang (Q_b) diambil dari nilai rerata perlawanan konus (q_c) $8D$ (D : diameter/lebar tiang) diatas ujung tiang dan $0,7D$ s.d. $4D$ dibawah ujung tiang.



Gambar 1. Analisis daya dukung ujung tiang (Schmertmann, 1978)

Tahanan ujung tiang :

$$Q_b = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \times A_b \tag{1}$$

Dimana:

- Q_b : tahanan ujung tiang
- q_{c1} : nilai rerata q_c dari $0,7D$ s.d. $4D$ dibawah ujung tiang
- q_{c2} : nilai rerata q_c $8D$ diatas ujung tiang
- A_b : luas penampang tiang

Jika tanah dibawah ujung tiang dalam keadaan lembek antara $4D$ sampai dengan $10D$, maka perlu dilakukan koreksi pada nilai rerata tersebut. Pada umumnya perlawanan konus (q_c) diambil tidak lebih dari 100 kgr/cm^2 untuk tanah pasir dan tidak lebih 75 kgr/cm^2 untuk tanah pasir kelanauan. Ketahanan selimut diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_s = K_{s,c} \left[\sum_{z=0}^{8D} \left(\frac{z}{8D} \right) f_s \times A_s + \sum_{z=8D}^L f_s \times A_s \right] \tag{2}$$

K_s dan K_c adalah faktor reduksi yang tergantung pada kedalaman dan nilai gesekan selimut. Jika tanah disekeliling tiang terdiri atas berbagai lapisan tanah pasir dan lempung, dianjurkan untuk menghitung ketahanan setiap lapisan secara terpisah. Namun demikian nilai faktor reduksi K pada persamaan 2 diatas dihitung atas dasar total kedalaman tiang. *Simon & Menzies (1977)*, juga mengusulkan perkiraan daya dukung tiang dengan menggunakan data sondir sebagai berikut:

$$Q_{ult} = q_{cp} \times A_b + \left(\frac{1}{200} \right) \times q_{cs} \times A_s \tag{3}$$

Dimana:

- q_{cp} : rerata perlawanan konus (q_c) sepanjang 4D diatas ujung s.d. 1D dibawah ujung tiang.
- q_{cs} : rerata perlawanan konus (q_c) sepanjang tiang. Nilai q_{cp} dan q_{cs} dinyatakan dalam kPa (kN/m^2)

Standard Penetration Test (SPT) adalah salah satu pengujian lapangan yang cukup populer di Indonesia. Pertama kali digunakan pada tahun 1927, setelah itu penggunaan alat ini dilakukan secara rutin di lapangan. Pengujian SPT ini dapat dilakukan dengan cara yang cukup sederhana dan mudah sehingga tidak memerlukan ketrampilan khusus untuk pengoperasiannya. Cara pengujian tanah dengan SPT termasuk cara yang cukup ekonomis untuk memperoleh data pada profil tanah.

Persamaan umum yang diterapkan pada analisis daya dukung tiang berdasarkan data SPT adalah sebagai berikut:

$$Q_{ult} = \mu_b \times N_b \times A_b + \mu_s \times N \times A_s \text{ (Ton)} \tag{4}$$

Dimana :

- N_b : harga SPT pada ujung tiang
- $\mu_{b,s}$: harga koefisiren perlawanan ujung dan selimut tiang
- N : harga rerata SPT sepanjang tiang.

Pada penerapannya di dalam perencanaan, nilai N biasanya dilakukan koreksi sebagai berikut:

Koreksi ujung tiang: $N_b = 0,5 (N_1 + N_2) < 40$ (5)

Dimana :

- N_1 : nilai SPT pada ujung tiang
- N_2 : nilai SPT rerata dari ujung tiang hingga 4D diatas ujung tiang

Untuk tanah pasir yang sangat halus (fine sand) atau tanah pasir kelanauan (silty sand) yang terletak dibawah muka air tanah, nilai SPT cenderung lebih tinggi disebabkan oleh rendahnya permeabilitas. Oleh sebab itu, nilai N SPT dikoreksi sebagai berikut:

$$N^* = 15 + (N - 15)..N^* > 15 \tag{6}$$

Dimana:

- N^* : nilai SPT terkoreksi
- N : nilai SPT asli di lapangan

Beberapa peneliti merekomendasikan besarnya harga koefisien gesek untuk terutama persamaan D.4 sebagai berikut:

Tabel 1. Koefisien μ_b dan μ_s

Peneliti	Jenis tanah	Jenis tiang	μ_b	μ_s	Batasan
Meyerhof(1976)	Pasir	Berlaku umum	40	0,20	
	Lempung		---	0,50	
Okahara (1992)	Pasir	Tiang pancang	40	0,20	< 10 t/m2
		Cor ditempat	12	0,50	< 20 t/m2
	Kohesif	Tiang pancang	---	1	< 15 t/m2
		Cor ditempat	---	1	< 15 t/m2
Takahashi (1992)	Pasir	Tiang pancang	30	0,2	

Schmertmann (1967) menggunakan korelasi nilai N -SPT dengan tahanan konus untuk menentukan daya dukung ujung dan tahanan selimut tiang. Tabel 1 menunjukkan nilai gesekan untuk desain tiang pancang.

Tabel 2. Nilai gesekan untuk perencanaan tiang pancang

Jenis tanah	Keterangan	Gesekan selimut (kgr/cm ²)	Tahanan ujung (kgr/cm ²)
Pasir bersih (utk N>60, diambil N = 60)	GW,GP,GM ,SW,SP,SM	0,019 N	3,2 N
Lempung kelanauan bercampur pasir, pasir kelanauan, lanau	GC, SC, ML, CL	0,04 N (dianjurkan direduksi utk lempung kaku dan lempung kepasiran)	1,6 N
Lempung plastis	CH, OH	0,05N (dianjurkan direduksi utk lempung kaku dan lempung kepasiran)	0,7 N
Batu gamping rapuh, pasir berkarang		0,01 N	3,6N

Sumber : Schmertmann (1967)

Disamping metode-metode tersebut diatas, berikut adalah metode yang secara umum dikembangkan oleh para peneliti terdahulu. Prinsip peramaan yang diturunkan sama bahwa :

$$Q_{ult} = f_s \times A_s + f_b \times A_b \quad (7)$$

Dimana : $f_s = A + BxN$, dan $f_b = C \times N$. A, B dan C dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4 berikut ini.

Tabel 3. Hubungan antara Gesekan selimut, f_s , dengan nilai N-SPT

Jenis tiang	Jenis tanah	A	B	Catatan	Referensi
Tiang pancang	Berbutir kasar	0	2,0	fs: harga rerata sepanjang tiang. N : harga SPT rerata sepanjang tiang	Meyerhof(1956) Shioi&Fukui(1982)
	Berbutir kasar+berbutir halus	10	3,3	Jenis tiang tidak spesifik 3 <N<50, fs<170 kPa	Decourt (1982)
	Berbutir halus	0	10	---	Shioi &Fukui(1982)
Cetak/cor ditempat	Berbutir kasar	30	2,0	fs < 200 kPa	Yamasitha, et.al. (1987)
		0	5,0		Shioi&Fukui (1982)
	Berbutir halus	0	5,0	fs < 150 kPa	Yamasitha(1982)
Bor		0	10,0		Shioi&Fukui(1982)
	Berbutir kasar	0	1,0		Findlay(1984) Shioi&Fukui(1982)
		0	3,3		Wright&Reese(1979)
	Berbutir halus	0	5,0		Shioi&Fukui(1982)
		10	3,3	3 < N<50; fs < 170 kPa	Decourt(1982)
	Kapur	-125	12,5	15<N<30, fs < 250 kPa	Fletzer(1984)

Tabel 4. Hubungan antara tahanan ujung, fb, dengan nilai N-SPT

Jenis Tiang	Jenis Tanah	C	Catatan	Referensi
Pancang	Pasir	0,45	N : nilai SPT rerata L : panjang tiang, D : diameter tiang, C > 4	Martin (1987)
		0,40		Decourt (1982)
		0,04(L/D)		Meyerhof (1976)
	Lanau, lanau kepasiran	0,35		Martin (1987)
	Lanau halus	0,25		Thornburn (1971)
	Pasir kelanauan	0,25		Decourt(1982)
	Lempung kelanauan	0,20		Decourt(1982)
	Lempung	0,20		Martin (1987)
		0,12		Decourt (1982)
	Semua jenis tanah	0,30	Untuk (L/D) > 5 Jika (L/D) < 5; C = 0,1 + 0,04 (L/D)	Decourt(1987) Shioi&Fukui(1982)
Cetak di tempat	Berbutir kasar		fb = 3 mPa fb < 7,5 Mpa	Shioi&Fukui(1982) Yamasitha(1987)
	Berbutir halus	0,15	Ffb=0,09(1+0,16Lt) Lt : panjang ujung tiang	Yamasitha(1987)
Bor	Pasir	0,1		Shioi&Fukui(1982)
	Lempung	0,15		Shioi&Fukui(1982)
	Kapur	0,25	N<30	Hobbs (1977)
		0,20	N > 40	

4. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menjawab rumusan masalah yang ada diperlukan adanya analisis data secara benar yang dihasilkan dari serangkaian data dengan percobaan lapangan dan laboratorium. Untuk mempersiapkannya perlu adanya perencanaan dan rancangan yang matang serta pemeriksaan alat yang kualitatif.

Lokasi penelitian

Pengumpulan data diambil dari 9 (Sembilan) lokasi pembangunan di sekitar Ring Road Utara Yogyakarta.

Lokasi tersebut adalah :

1. Pembangunan Hotel City JL. Ring Road Utara Yogyakarta.
2. Pembangunan Hotel IBS JL. Ring Road Utara Yogyakarta.
3. Pembangunan Gedung dan Kantor JL Ring Road Utara Yogyakarta
4. Pembangunan Hotel HLS JL. Ring Road Utara Yogyakarta.
5. Pembangunan MRT JL. Ring Road Utara Yogyakarta
6. Pembangunan Bank SM JL. Ring Road Utara Yogyakarta
7. Hotel Dan Ruko JL. Ring Road Selatan
8. Hotel MGR JL. Ring Road Selatan
9. Hotel TM JL Ring Road Selatan

Peta lokasi tersebut dapat dilihat pada peta di bawah ini :



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Ring Road Utara Yogyakarta

Pengujian di lapangan

Penelitian dan analisis perhitungan korelasi hasil percobaan CPT dan SPT ini dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Data yang ada pada lokasi percobaan CPT dan SPT tidak berada pada titik yang sama melainkan pada titik terdekat yang dianggap mewakili (jarak titik CPT dan SPT ± 10 m)
2. Karena percobaan tidak pada titik yang sama, maka pengambilan nilai SPT & CPT diambil tidak persis pada kedalaman yang sama, melainkan pada kedalaman yang sama dengan toleransi $\pm 0,5$ meter (atau nilai yang logis berdasarkan pengamatan terhadap grafik CPT dan SPT).
3. Untuk mendapatkan nilai korelasi, dilakukan dengan pendekatan “*Regresi Linier*” terhadap data yang dengan bantuan microsoft excel.
4. Nilai perlawanan konus (qc) dari percobaan CPT adalah sebesar empat kali nilai N pada percobaan SPT dari Terzaghi dan Peek hanya dipakai sebagai tolok ukur saja atau perbandingan dengan nilai korelasi yang akan diperoleh.

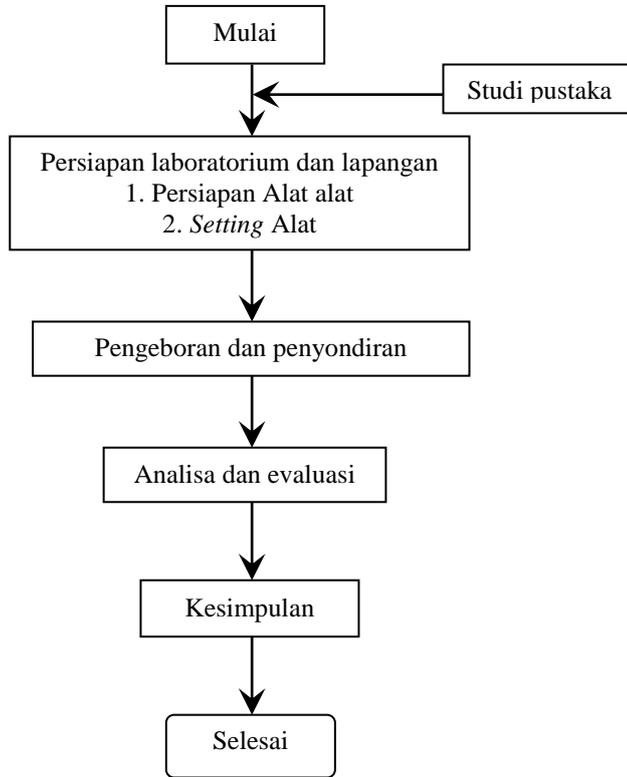
Cara kerja alat CPT dan SPT

Dengan alat sondir (CPT) ini, ujungnya ditekan langsung kedalam tanah sehingga lubang bor tidak diperlukan. Ujung bor tersebut yang berbentuk konus (kerucut) dihubungkan pada suatu rangkaian stang-dalam, dan casing luar (juga disebut pipa sondir) ditekan ke dalam tanah dengan pertolongan suatu rangka dan dongkrak yang dijangkarkan pada permukaan tanah. Ujung konus yang merupakan sebuah kerucut (menurut ASTM D 3441 mempunyai ujung 60° dengan luas penampang 10 cm^2 dengan diameter dasar $35,7 \text{ mm}$), ditekan kebawah dengan suatu rangkaian stang dalam dan casing luar. Kemudian diadakan pembacaan pada manometer (data yang didapat tahanan ujung qc) untuk setiap penekanan pipa sedalam 20 cm . Penyondiran diberhentikan pada keadaan tekanan manometer telah mencapai $\pm 450 \text{ kg/cm}^2$ atau kedalaman maksimum 20 meter .

Cara melakukan percobaan pada alat SPT sebagai berikut: Suatu alat yang dinamakan :”*split spoon sampler*” dimasukkan kedalam tanah dasar lubang bor dengan memakai beban penumbuk (*drive weight*) seberat 140 pound (63 kg) yang dijatuhkan dari ketinggian 30 inchi (76 cm). Setelah “*split spoon sampler*” dimasukkan 6 inchi (15 cm), jumlah pukulan ditentukan untuk memasukkannya 12 inchi ($30,5 \text{ cm}$) berikutnya. Jumlah pukulan disebut N (N number or N value) dengan satuan pukulan/kaki (*blow per foot*). Pemboran menunjukkan “penolakan” dan pengujian diberhentikan apabila ; diperlukan 50 kali pukulan untuk setiap pertambahan 150 mm , atau telah mencapai 100 kali pukulan, atau pukulan berturut-turut tidak menunjukkan kemajuan.

Bagan alir prosedur penelitian

Prosedur pengujian dilakukan seperti bagan alir berikut:



Gambar 3. Bagan alir Prosedur Penelitian

5. ANALISIS DATA

Nilai qc korelasi diperoleh dari rata-rata dari nilai qc pada kedalaman sesuai dengan kedalaman nilai N_{SPT} dengan toleransi seperti Tabel dibawah :

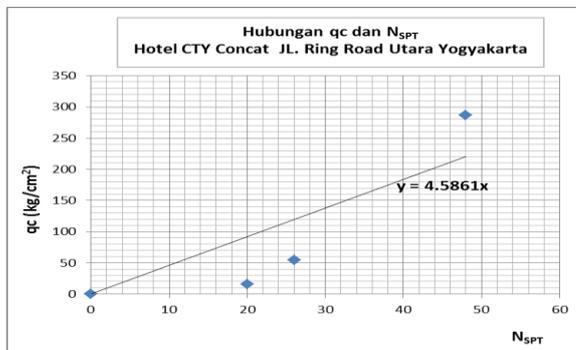
Tabel 5. Gabungan 9 lokasi

Lokasi	Kedalaman (m)	N _{SPT}	qcrerata (kg/cm ²)
Hotel CTY Concat YK	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	20.000	15.600
	4,00 s/d 6,00	26.000	54.350
	6,00 s/d 8,00	48.000	287.000
Hotel MRT Ring Road Utara	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	19.000	189.375
	4,00 s/d 6,00	23.333	95.400
	6,00 s/d 8,00	45.000	99.700
	8,00 s/d 10,00	54.333	304.000
BSM Ring Road Utara YK	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	23.000	19.000
	4,00 s/d 6,00	24.000	73.900
	6,00 s/d 8,00	27.000	116.967
	8,00 s/d 10,00	23.000	103.200
	10,00 s/d 12,00	25.000	140.600
	12,00 s/d 14,00	16.000	68.267
	14,00 s/d 16,00	34.000	111.767

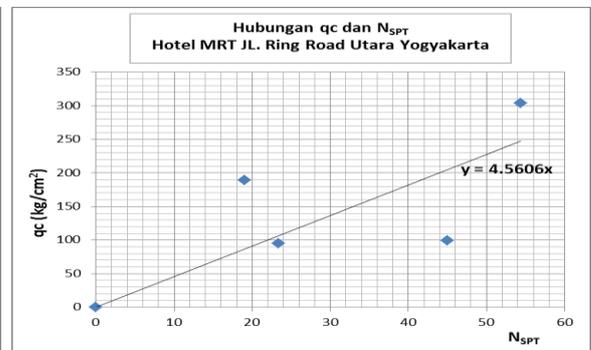
Tabel 5. Gabungan 9 lokasi (lanjutan)

Lokasi	Kedalaman (m)	N _{SPT}	qc _{rerata} (kg/cm ²)
	16,00 s/d 18,00	35.000	172.467
	18,00 s/d 20,00	44.000	286.095
Hotel Ruko JL Ring Road	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	12.000	42.050
	4,00 s/d 6,00	16.000	45.850
	6,00 s/d 8,00	20.000	93.100
	8,00 s/d 10,00	22.000	122.300
Hotel MGR Ring Road Utara	10,00 s/d 12,00	22.000	105.000
	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	24.000	52.500
	4,00 s/d 6,00	35.000	222.667
	6,00 s/d 8,00	45.000	174.000
Hotel TM Ring Road	8,00 s/d 10,00	47.000	230.333
	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	30.500	97.693
	4,00 s/d 6,00	28.000	173.383
	6,00 s/d 8,00	50.000	226.250
IBS, Gedung Kantor, HLS	0,00 s/d 2,00	0.000	0.000
	2,00 s/d 4,00	32.857	56.500
	4,00 s/d 6,00	31.286	55.000
	6,00 s/d 8,00	24.000	116.643
	8,00 s/d 10,00	33.857	321.000

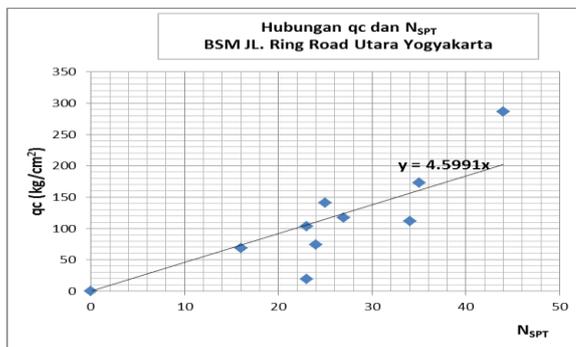
Hasil nilai qc korelasi diplotkan pada grafik untuk masing-masing lokasi, dan diperoleh persamaan regresi linear pada masing-masing titik (lihat grafik 1 s/d Grafik 8).



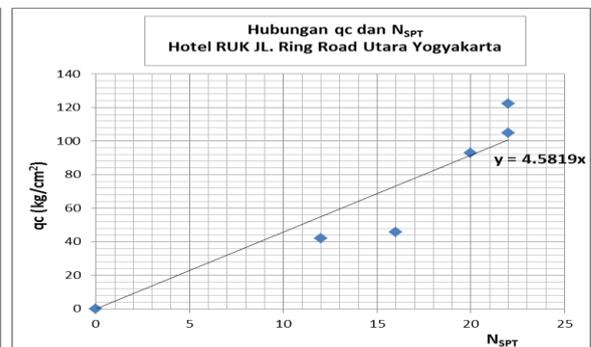
Grafik 1 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (Hotel CTY)



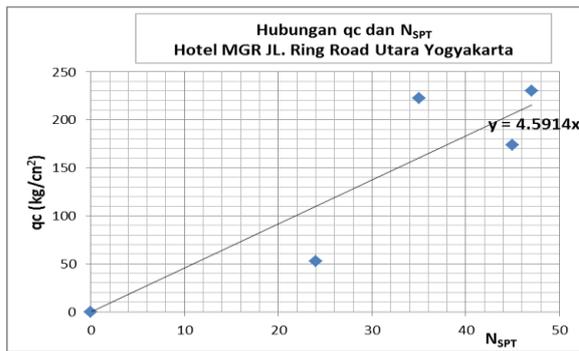
Grafik 2 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (Hotel MRT)



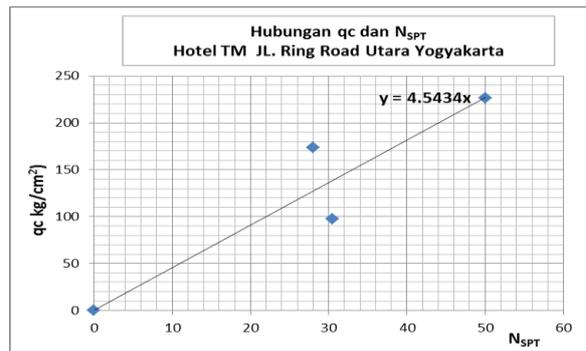
Grafik 3 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (Hotel BSM)



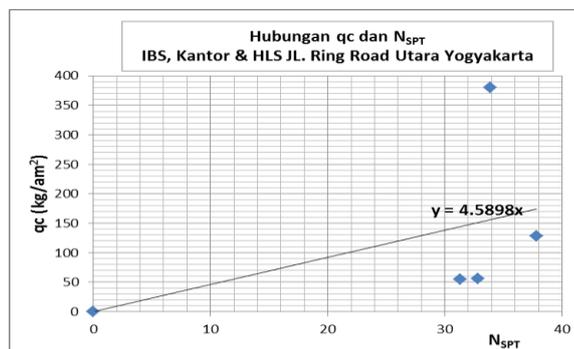
Grafik 4 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (Hotel Hotel dan Ruko)



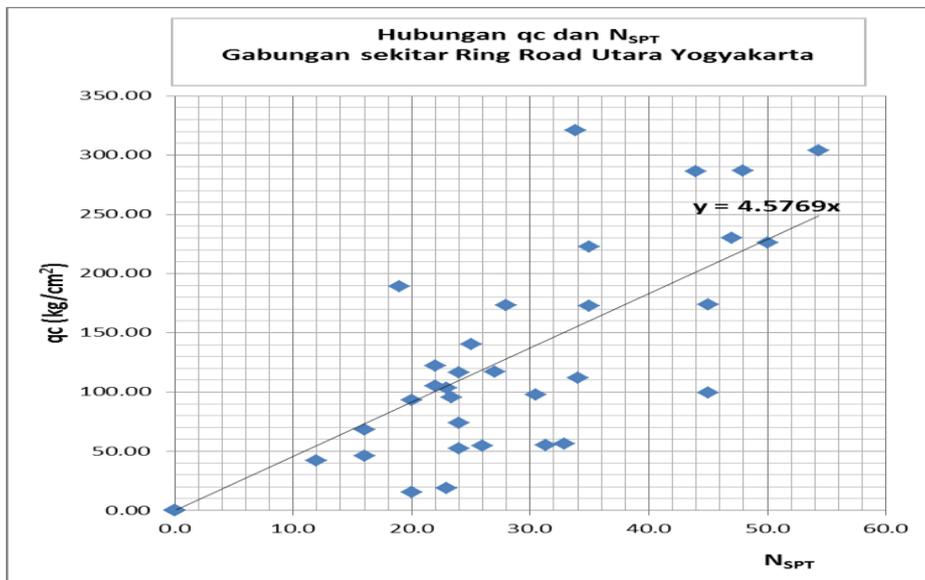
Grafik 5 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (Hotel MGR)



Grafik 6 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (Hotel TM)



Grafik 7 . Persamaan Regresi Linier hubungan qc dan SPT (IBS, Kantor &HLS)



Grafik 8 . Persamaan regresi linier hubungan qc dan SPT (gabungan dari 9 lokasi)

6. KESIMPULAN DAN SARAN

- a) Angka korelasi yang diperoleh agak sedikit berbeda dengan analisis Terzaghi dan Peek yaitu :
- Lokasi 1 qc = 4,5861 N
 - Lokasi 2, Lokasi 3, Lokasi 4 qc = 4,5898 N
 - Lokasi 5 qc = 4,5606 N

- Lokasi 6 $q_c = 4,5991$ N
 - Lokasi 7 $q_c = 4,5819$ N
 - Lokasi 8 $q_c = 4,5914$ N
 - Lokasi 9 $q_c = 4,5434$ N
- b) Rata-rata nilai dari hasil penelitian didapat suatu angka korela ekivalen yakni; $q_c = 4,5769$ N (oleh Terzaghi dan Peek, $q_c = 4$ N)
- c) Disarankan untuk mengadakan penelitian lebih lanjut dengan metoda lain ataupun dengan metoda yang sama, tetapi dengan mempergunakan sample yang lebih banyak, serta pada lokasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, "*Laporan Hasil Penyelidikan Tanah*", Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- L.D. Wesley, Jakarta, (1977), "*Mekanika Tanah*", Badan Penerbit Pekerjaan Umum,
- L. Taulu, Ir dkk Jakarta, (1984), "*Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*", P.T. Pradya Paramita,
- Josep E.Bowles, , (Jakarta, 1991), "*Analisa dan Desain Pondasi*", Edisi keempat Jilid 1, Erlangga