

## PENENTUAN KOHESI DAN SUDUT GESER DALAM PADA BETON BUSA

Mansyur<sup>✉1</sup>, M. W. Tjaronge<sup>2</sup>, Rita Irmawaty<sup>2</sup> dan A. Arwin Amiruddin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program S3 Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

<sup>2</sup>Dosen, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

e-mail: [mansyurushn14@gmail.com](mailto:mansyurushn14@gmail.com)<sup>✉</sup>, [tjaronge@yahoo.co.jp](mailto:tjaronge@yahoo.co.jp), [rita\\_irmaway@yahoo.co.id](mailto:rita_irmaway@yahoo.co.id),  
[a.arwinamiruddin@yahoo.com](mailto:a.arwinamiruddin@yahoo.com)

### ABSTRACT

*The development of science, especially in the field of construction, the building blocks of concrete have also developed. One of them is the emergence of foam concrete innovation. The cohesion (c) and friction ( $\phi$ ) angle are the two main parameters required in the numerical simulation and design of cracks that occur in non-structural walls using foam concrete material. This study aims to analyze the C and  $\phi$  values of foam concrete material. Foam concrete is produced by using PCC cement, fine aggregate, and foam, with variation in volume of foam is 15.7 liters, 25.12 liters and 37.68 liters. The compressive strength test was conducted to evaluate the mechanical characteristics of foam concrete at 3, 7 and 28 days after demolding. The results show that the predicted value of c appears more realistic than the value of  $\phi$ , and the distribution is associated with volume weight and pore distribution that is commonly observed in foam concrete. The calculated value of c is 1.74 times the indirect tensile strength ( $\sigma_t$ ).*

**Keywords:** Foam concrete; Friction Angle; Cohesion

### ABSTRAK

*Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya di bidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton busa. Kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) adalah dua parameter utama yang diperlukan dalam simulasi numerik dan desain retak yang terjadi pada dinding non struktural yang menggunakan material beton busa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai C dan  $\phi$  material beton busa. Beton busa diproduksi dengan menggunakan semen PCC, agregat halus, dan busa dengan volume yaitu 15,7 liter, 25,12 liter dan 37,68 liter. Pengujian kuat tekan digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan beton busa yang dihasilkan pada umur 3, 7 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai prediksi dari c tampak lebih realistis daripada nilai  $\phi$ , dan sebaran dikaitkan dengan berat volume dan sebaran pori yang umumnya diamati pada beton busa. Nilai yang dihitung dari c adalah 1.74 kali kekuatan tarik tidak langsung ( $\sigma_t$ ).*

**Kata kunci:** Beton busa; Sudut Geser; Kohesi

## PENDAHULUAN

Mohr – Coulomb adalah salah satu model yang paling umum digunakan untuk mendesain material seperti tanah, batuan dan beton. Dalam melaksanakan desain dan juga untuk simulasi masalah yang berhubungan dengan tanah, batuan atau beton seperti penggalian atau bukaan bawah tanah termasuk

pembuatan terowongan, diperlukan parameter desain yang sesuai. Pada tanah, parameter kekuatan geser kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) ditentukan dari uji laboratorium seperti uji triaksial atau geser langsung, atau secara tidak langsung dari uji in situ. Namun, melakukan uji triaksial pada spesimen beton busa untuk menentukan parameter kekuatan geser merupakan tugas yang sulit.

Piratheepan mengusulkan metode untuk memperoleh parameter kekuatan geser dari bahan dasar granular yang digunakan untuk pekerjaan jalan, yang terdiri dari kerikil berpasir bergradasi baik yang disemen ringan dengan beberapa halus, menggunakan data dari uji kekuatan tarik tidak langsung dan uji kompresi uniaksial [1]. 1,5–5,0% fly ash atau slag digunakan sebagai bahan pengikat pada spesimen padat yang dipelajari. Hasil yang dilaporkan bahwa kohesi yang diturunkan adalah 1,824 kali kekuatan tarik tidak langsung.

Tidak seperti tanah, beton busa menunjukkan kekuatan tarik yang signifikan. Dalam desain bukaan bawah tanah, penggalian, dan pondasi pada batuan, kekuatan tarik seringkali menjadi parameter masukan. Ada beberapa korelasi empiris yang dilaporkan dalam literatur yang menghubungkan kuat tekan ( $\sigma_c$ ), kekuatan tarik ( $\sigma_t$ ), dan modulus Young ( $E$ ). Misalnya,  $\sigma_t/\sigma_c$  diharapkan berada pada kisaran 1/5 hingga 1/20, dengan nilai rata-rata 1/10 [2]. Das telah melaporkan hasil uji laboratorium terhadap kuat tekan dan kuat tarik pasir yang disemen ringan (kandungan semen = 4–8%) yang menunjukkan  $\sigma_t/\sigma_c$  sekitar 1/10 [3]. Besarnya  $\sigma_t$  untuk pengujian ini diperoleh dari uji kuat tarik dengan regangan tarik ( $\varepsilon_t$ ) pada kegagalan dengan menggunakan teknik analisis citra optik. Rasio  $\varepsilon_t$  to  $\varepsilon_c$  (regangan tekan saat gagal) sekitar 1/20. Melakukan uji kekuatan tarik langsung cukup merepotkan karena sulitnya menahan benda di ujungnya. Uji kekuatan tarik tidak langsung adalah cara sederhana dan tidak langsung untuk memperkirakan kekuatan tarik. Goodman mencatat bahwa nilai  $\sigma_t$  yang diperoleh dari uji kuat tarik tidak langsung dapat secara signifikan lebih tinggi daripada nilai sebenarnya yang diperoleh dari uji kuat tarik langsung [4].

Di sisi lain, perkembangan konstruksi dan infrastruktur yang sangat pesat saat ini membutuhkan sumber daya alam yang terus meningkat. Semen sebagai bahan utama pembuatan beton merupakan salah satu material alam yang banyak dibutuhkan untuk kegiatan konstruksi dan infrastruktur. Namun demikian, semen menjadi kontributor utama emisi gas rumah kaca, karena 6 - 7% dari total gas CO<sub>2</sub> diemisikan ke atmosfer bumi setiap tahunnya [5-7]. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk mengurangi efek buruk terhadap lingkungan tersebut, di antaranya dengan mengganti sumber bahan baku pembuatan semen ataupun membuat alternatif produk turunannya.

Dari sisi produk turunan semen, telah dikembangkan beton berbuisa (*foam concrete*), suatu pasta semen atau mortar yang didefinisikan sebagai beton ringan dengan density 400–1,850 kg/m<sup>3</sup>, memiliki rongga udara acak yang dibuat dari campuran *foam agent* di dalam mortar. *Foam concrete* memiliki *flowability* yang tinggi, penggunaan kadar semen yang rendah, dan penggunaan agregat yang efisien [8-10]. Pembangunan gedung diseluruh dunia kini semakin memperhatikan penggunaan beton berbuisa. Penghematan energi dan pertimbangan ramah lingkungan menjadi alasan utama penggunaan material ini. Bahan beton berbuisa terdiri dari bahan utama dan bahan tambahan. Bahan utama adalah mortar yang terdiri dari: semen, agregat, air, yang ditambahkan bahan lain berupa: *foam agent*. Beton berbuisa adalah pasta semen yang rapuh/*porous* atau campuran semen dan pasir halus dengan sel-sel udara mikro atau makroskopik yang seragam didistribusikan secara merata di seluruh campuran untuk menghasilkan beton ringan [11]. Ini adalah bahan struktural ekonomis, ramah lingkungan, ringan yang menyediakan isolasi termal yang tahan

api dan rayap. Di dunia konstruksi, beton berbuisa banyak juga diaplikasikan untuk material nonstruktural seperti partisi, kelebihanannya yang tahan terhadap insulasi termal mampu menghemat penggunaan energi alat pendingin udara, serta massa jenisnya yang lebih ringan sehingga dapat mengurangi konsumsi agregat dan semen.

Dengan memperhatikan parameter kuat geser dalam ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ) pada benda uji beton busa dari uji tekan uniaksial dan data uji kuat tarik tidak langsung, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan metode tersebut pada data uji laboratorium dari benda uji beton busa. Selain itu, rasio  $\sigma_t/\sigma_c$  dan  $E/\sigma_c$  yang berasal dari data uji laboratorium juga di analisis.

## MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

### 1. Semen Portland Komposit (PCC)

Semen portland komposit yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari salah satu produsen yang ada di Indonesia. Pengujian karakteristik fisik semen portland komposit mengacu pada SNI 15-7064-2012 [11]. Terlihat nilai kadar air yaitu sebesar 11,5%, kehalusan sebesar 382 dan kuat tekan pada umur 3, 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 185 kg/cm<sup>2</sup>, 263 kg/cm<sup>2</sup> dan 410 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2. Agregat Halus

Tabel 1 memperlihatkan karakteristik fisik agregat halus. Agregat halus yang digunakan adalah pasir silika yang berasal dari Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Terlihat karakteristik fisik agregat halus yang digunakan memenuhi spesifikasi SNI.

### 3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Gambar 1

memperlihatkan bagan alir penelitian. Beton busa diproduksi dengan menggunakan semen PCC, agregat halus, dan busa (foam) dengan volume yaitu 15,7 liter, 25,12 liter dan 37,68 liter. Pengujian kuat tarik tidak langsung (*indirect tensile strength*) dan pengujian kuat tekan (*compressive strength*) digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan beton busa yang dihasilkan pada umur 3, 7 dan 28 hari. Tabel 2 memperlihatkan rancangan campuran beton busa yang digunakan dalam penelitian ini.

### 4. Kuat Tarik Tidak Langsung

Kuat tarik tidak langsung dapat dilakukan pada benda uji dalam bentuk lingkaran penuh dan setengah lingkaran. Sedangkan Tayfur mengatakan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung merupakan fungsi dari beban, diameter dan ketebalan benda uji, untuk benda uji berbentuk lingkaran penuh [12]. Pengujian kuat tarik tidak langsung benda uji silinder berdiameter  $D$  dengan sumbu horizontal. Setrip logam ditempatkan di bagian atas dan bawah sambil menerapkan beban  $P$  secara seragam di seluruh panjang  $t$  pada sudut siku-siku ke penampang. Kegagalan terjadi secara umum sepanjang diameter vertikal, dan dapat ditunjukkan bahwa kuat tarik tidak langsung  $\sigma_t$  diberikan oleh  $2P/\pi D_t$ . Gambar 2 dan 3 menunjukkan sampel silinder dengan diameter  $D$  dan panjang  $t$  diberikan uji kuat tarik tidak langsung. Lebar proyeksi dari pelek pemuatan adalah  $a$  yang diasumsikan sebagai tekanan seragam  $p (= \frac{P}{at})$  di mana  $P$  adalah beban yang diberikan. Pola pembebanan membentuk sudut  $2\alpha$  pada titik asal  $O$ . Dengan asumsi bahwa tekanan  $p$  radial dan bila  $a$  bernilai kecil, dapat membentuk tegangan normal pada titik A dan B pada garis radial horizontal dan vertikal [13]. Pengujian kuat tarik tidak

langsung mengacu pada SNI 2491-2014 [14].

### 5. Kuat Tekan Beton Busa

Kuat tekan uniaksial (UCS atau  $\sigma_c$ ), juga dikenal sebagai kekuatan tekan tak terbatas ( $q_u$ ), merupakan parameter kekuatan umum yang sering digunakan untuk mengukur kekuatan pada batuan. Hal ini ditentukan melalui uji kuat tekan uniaksial, juga dikenal sebagai uji kuat tekan tak terbatas. Sebuah tegangan normal vertikal seragam, diterapkan pada horizontal penampang melingkar dari sampel silinder. Selama pembebanan, tidak ada batasan tekanan di sekitar sampel dan pengujiannya cukup sederhana serta interpretasinya langsung. Tegangan vertikal saat mencapai kegagalan, merupakan kekuatan tekan uniaksial atau kuat tekan tidak terbatas, dilambangkan dengan  $q_u$  atau  $\sigma_c$ . Lingkaran Mohr saat uji tekan uniaxial ditampilkan pada Gambar 4 di mana  $\sigma_c = 2X$ , dengan  $X = \sigma_c/2$  dan  $Y = \sigma_t$ . Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974:2011 [15]. Untuk menentukan kohesi ( $c$ ) dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$c = \left( \frac{0.5\sigma_c\sigma_t}{\sqrt{\sigma_t(\sigma_c - 3\sigma_t)}} \right)$$

Sedangkan kuat geser dalam ( $\phi$ ) dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{\sigma_c - 4\sigma_t}{\sigma_c - 2\sigma_t} \right)$$

## HASIL dan PEMBAHASAN

Tabel 3 memperlihatkan kekuatan dari beton busa dengan menggunakan 3 jenis campuran yang diperoleh dari pengujian kuat tekan dan kuat tarik tidak langsung. Dari pengujian kuat tekan, modulus elastisitas ( $E$ ) dan kuat tekan uniaksial ( $\sigma_c$ ) ditentukan untuk 3 jenis campuran beton busa pada umur 3, 7 dan 28 hari spesimen, dengan diameter

10 cm. Kekuatan tarik ( $\sigma_t$ ) ditentukan dari pengujian kuat tarik tidak langsung. Hasil pengujian yang lain tidak dilakukan dalam penelitian ini.

Sudut geser dalam dan kohesi diturunkan dari persamaan pengujian kuat tekan dengan mengadopsi persamaan lingkaran Mohr-Coulomb yang diberikan dalam Tabel 3. Semua data nilai sudut geser dalam bertanda positif yang menunjukkan nilai yang realistis. Umur 3 hari campuran I dan umur 28 hari campuran III memberikan nilai sudut geser dalam yang relatif lebih rendah. Sudut geser dalam yang dihasilkan pada campuran yang lain berada dalam kisaran yang lebih realistis yaitu  $36^\circ$ - $49^\circ$ . Nilai kohesi tersebut relatif lebih konsisten, yang berada dalam kisaran 0,7-1,7 MPa.

Variasi teoretis  $\sigma_c/\sigma_t$ , ditunjukkan pada Gambar 5, dimana terbukti bahwa rasio  $\sigma_c/\sigma_t$  meningkat terhadap sudut geser dalam ( $\phi$ ). Dibutuhkan nilai rasio  $\sigma_c/\sigma_t$  antara 5-10 untuk mendapatkan  $\phi = 22^\circ$ - $49^\circ$ . Rasio  $\sigma_c/\sigma_t$  yang diperoleh dari 9 benda uji dengan 3 jenis campuran pada umur 3, 7 dan 28 hari secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 3, di mana berada dalam kisaran 5,2-10,4. Rasio  $E/\sigma_c$  berada pada kisaran 35-95 untuk semua 9 benda uji.

Gambar 6 menunjukkan variasi kohesi untuk mendapatkan persamaan kohesi dari pengujian kuat tarik, digambarkan terhadap kekuatan tarik tidak langsung. Terlihat bahwa hubungan yang dibentuk adalah  $c = 1.74 \sigma_t + 0.0478$  dengan nilai  $R^2 = 0.984$ .

## KESIMPULAN

Uji kuat tekan dan uji kuat tarik tidak langsung adalah dua pengujian umum yang dilakukan pada beton busa, untuk menentukan nilai kuat tekan ( $\sigma_c$ ), modulus Young ( $E$ ), dan kekuatan tarik tidak langsung ( $\sigma_t$ ), dalam desain dan pemodelan numerik pada kondisi beban

retak pada dinding non struktural yang menggunakan material beton busa, diperlukan parameter kekuatan geser Mohr-Coulomb, kohesi ( $c$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Perkiraan kohesi terkait dengan nilai terukur dari tegangan tarik  $\sigma_t$  dapat dihubungkan melalui persamaan  $c = 1.74 \sigma_t + 0.0478$   $R^2 = 0.984$ .

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Program Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia (BPPDN) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Sebagian besar penelitian dilakukan di Laboratorium Eco Material dan Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar-Indonesia.

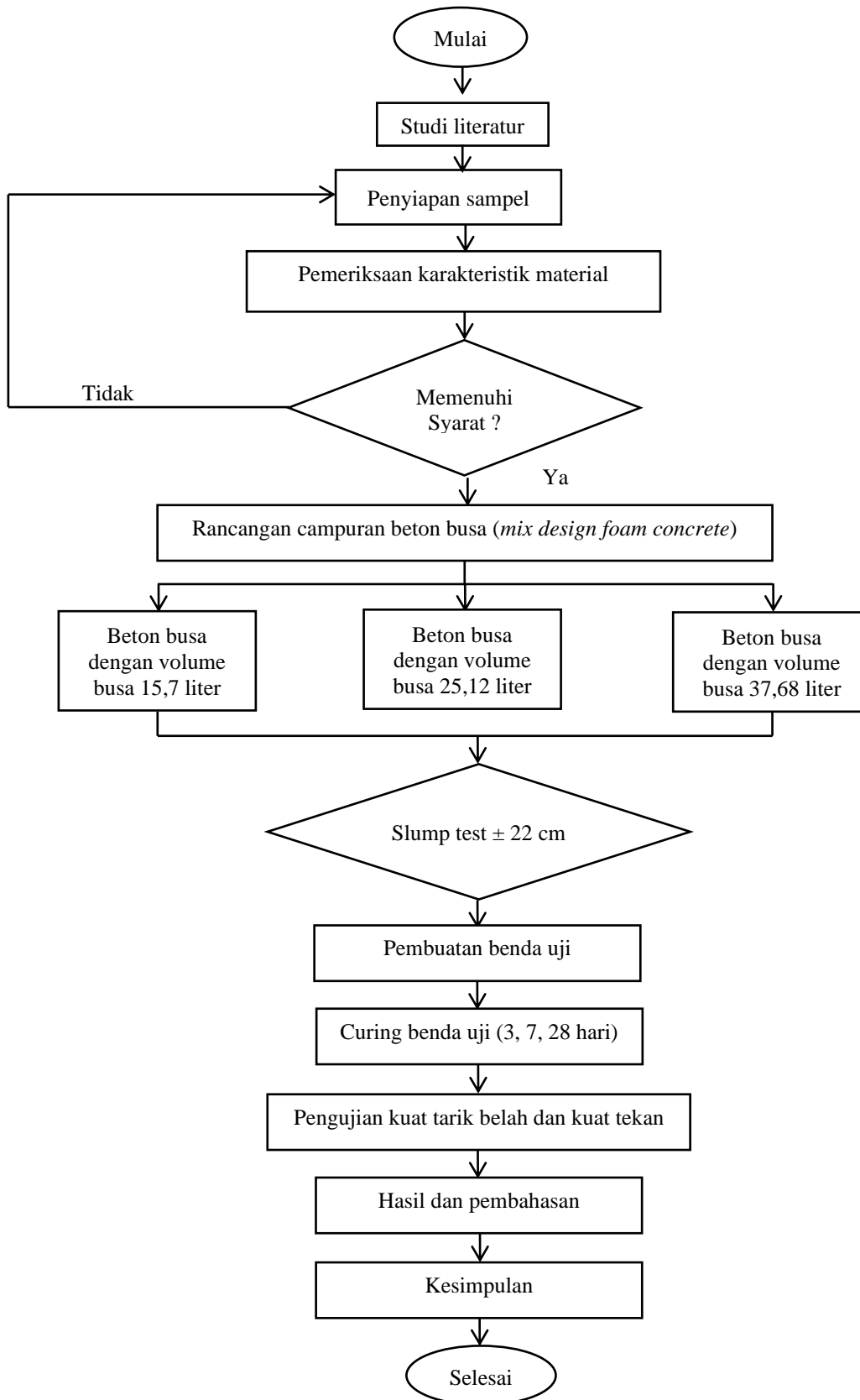
#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Piratheepan, J., Gnanendran, C. T. and Arulrajah, A. 2012. Determination of  $c$  and  $w$  from an IDT and unconfined compression testing.
- [2] Sivakugan, N., Arulrajah, A. and Bo, M. W. 2011. Laboratory testing of soils, rocks and aggregates, Boca Raton, FL, US, J Ross Publishing.
- [3] Das, B. M., Yen, S. C. and Dass, R. N. 1995. Brazilian tensile strength of a lightly cemented sand, *Can. Geotech. J.*, 32, (1), 166–171.
- [4] Goodman, R. E. 1989. Introduction to rock mechanics, 2nd edn, New York, Wiley.
- [5] Tjaronge M. W., Rita Irmawaty, Adisasmita S. A., Amiruddin A. A. Compressive Strength and Hydration Process of Self Compacting Concrete (SCC) Mixed with Sea Water, Marine Sand and Portland Composite Cement, *Advanced Materials Research Vol. 935* pp 242-246 (2014).
- [6] Raidyarto A., Parung H., Tjaronge M. W. and Djameluddin R. 2020. Flowability of self-compacting concrete containing marine materials and steel fiber. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 419 (2020) 012055.
- [7] Erniati, Tjaronge, M.W., Sampebulu, V., Djameluddin, R., 2015. Porosity and Microstructure Phase of Self Compacting Concrete Using Sea Water as Mixing Water and Curing. *Advanced Materials Research* 1119, 647–651. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1119.647>
- [8] Sunarno Y., Tjaronge M. W. and Irmawaty R. 2020. Preliminary study on early compressive strength of foam concrete using Ordinary Portland Cement (OPC) and Portland Composite Cement (PCC). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 419.
- [9] K. Ramamurthy, E.K. Kunhanandan Nambiar, G. Indu Siva Ranjani, A classification of studies on properties of foam concrete, *Cem. Concr. Compos.* 31 (6) (2009) 388–396.
- [10] A. Hajimohammadi, T. Ngo, P. Mendis, Enhancing the strength of pre-made foams for foam concrete applications, *Cem. Concr. Compos.* 87 (2018) 164–171.
- [11] ACI 523. 1R-1992, Guide for cast-in-place low density concrete. *Am Concr Inst* 1992.
- [12] Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. *Science Direct, Construction and Building Materials*, hal. 328 -337.
- [13] Hondros, G. 1959. The evaluation of Poisson's ratio and the modulus of materials of a low tensile resistance by the Brazilian (indirect tensile) test with particular reference to concrete, *Aust. J. Appl. Sci.*, 10, (3), 243–268.

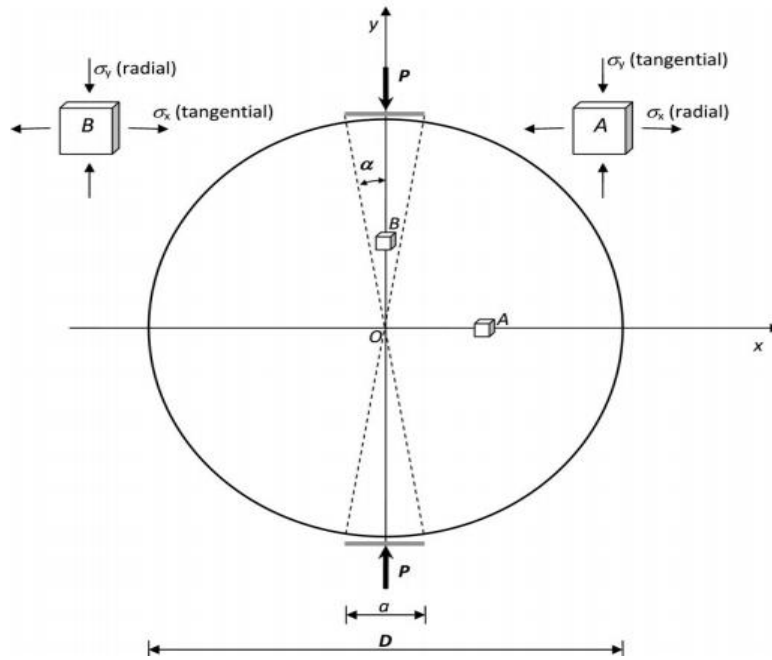
[14] Standar Nasional Indonesia. SNI 2491-2014. Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder. Badan Standarisasi Nasional.

[15] Standar Nasional Indonesia. SNI 1974 : 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Standarisasi Nasional.

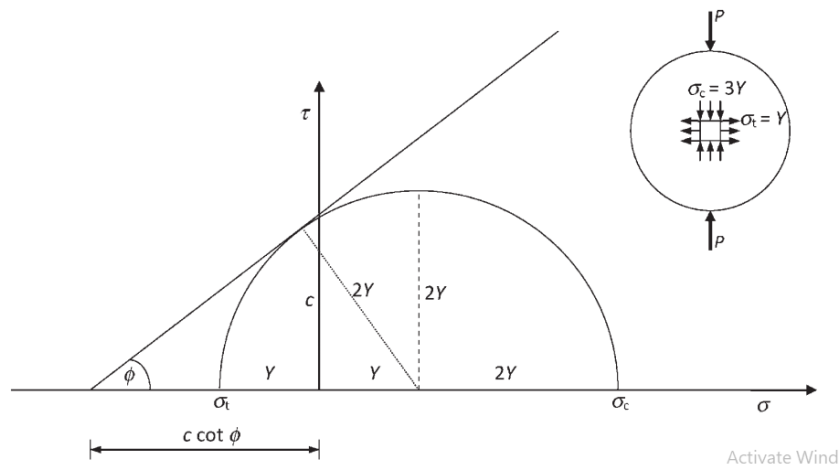
-----



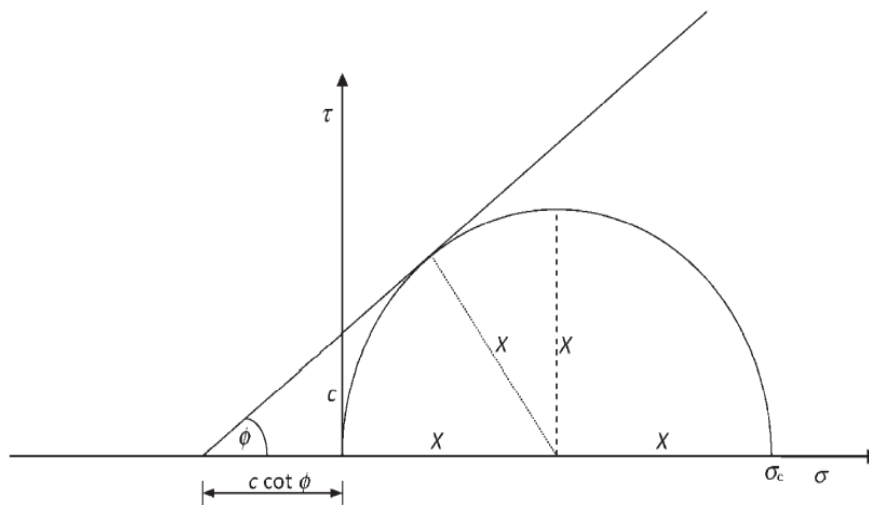
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



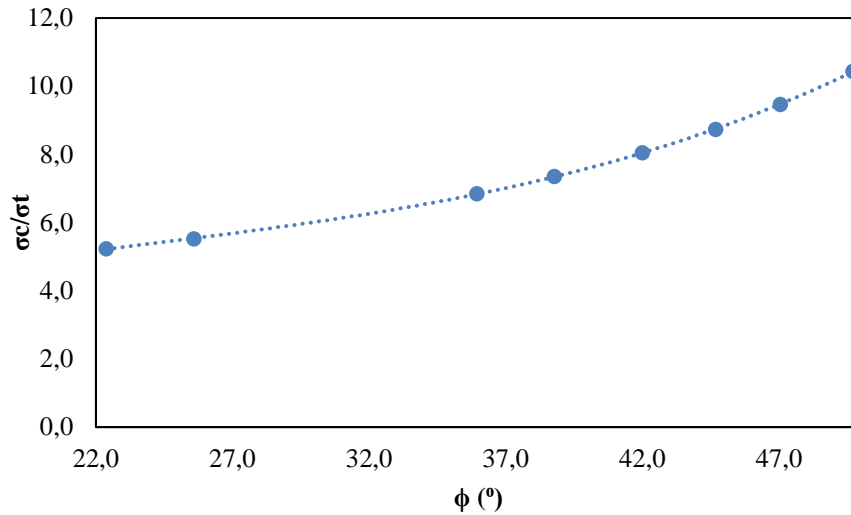
Gambar 2. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung Sampel Silinder



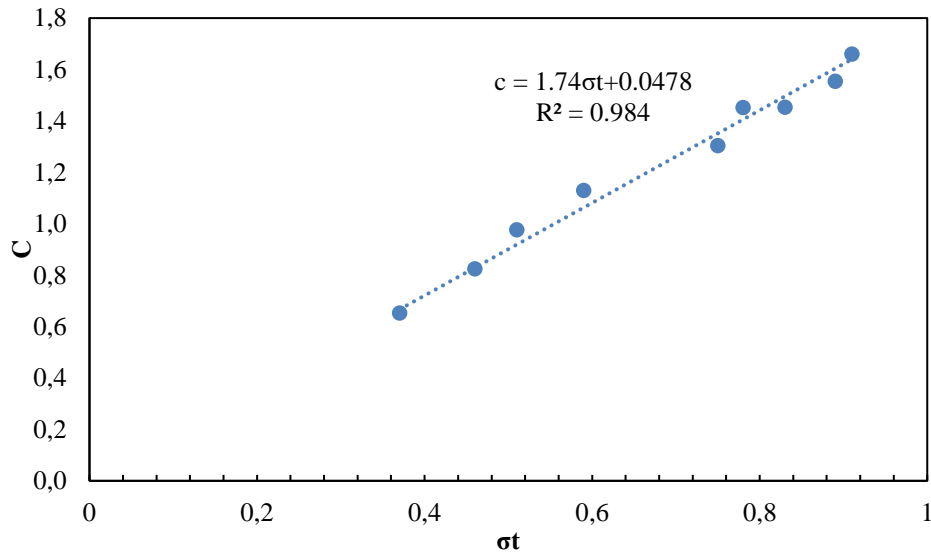
Gambar 3. Lingkaran Mohr untuk Keadaan Tegangan di pusat dalam Uji Kekuatan Tarik Tidak langsung



Gambar 4. Lingkaran Mohr untuk Keadaan Tegangan di pusat dalam Uji Kekuatan Tekan



Gambar 5. Variasi hubungan  $\sigma_c/\sigma_t$  dengan  $\phi$



Gambar 6. Hubungan Antara Kohesi dan Kuat Tarik Tidak Langsung

Tabel 1. Karakteristik Fisik Agregat Halus

No.	Karakteristik material	Hasil pemeriksaan
1.	Berat jenis	
	-Berat jenis kering	2,58
	-Berat jenis SSD	2,60
	-Berat jenis semu	2,65
2.	Penyerapan air (%)	0,91
3.	Kadar lumpur (%)	0,96
4.	Modulus kehalusan	1,26
5.	Berat volume (kg/lt)	
	-Lepas	1,40
	-Padat	1,48
6.	Kadar air (%)	3,59
7.	Kadar organik	No. 1

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 2. Rancangan Campuran Beton Busa (1 m<sup>3</sup>)

Material	Jenis	Berat Jenis	Campuran		
			I	II	III
Air	Tanah	1		232 kg	
Pasir	Sungai	2,48		1325 kg	
Semen	PCC	3,02		662,5 kg	
Admixture (Sikament LN)	Tipe F	1,22		16,6 kg	
<b>Total</b>				<b>2236,1 kg</b>	
LWC Density			1602 kg/m <sup>3</sup>	1470 kg/m <sup>3</sup>	1318 kg/m <sup>3</sup>
Mortar Portion			67,47%	51,13%	44,59%
Foam Portion			32,53%	48,87%	55,41%
Perbandingan Foam Agent/Air				3 : 10	

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 3. Data Kekuatan Beton Busa

Benda Uji		Parameter yang Diukur				Sudut Geser dan Kohesi		Rasio	
Campuran	Umur (Hari)	Berat Volume / $\rho$ (gcm <sup>-3</sup> )	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	E (GPa)	$\Phi(^{\circ})$	c (MPa)	$\sigma_c/\sigma_t$	E/ $\sigma_t$
I	3	1,530	0,83	4,34	0,21	22,4	1,5	5,2	47,8
II	3	1,865	0,51	5,32	0,51	49,7	1,0	10,4	95,9
III	3	1,484	0,37	2,72	0,14	38,8	0,7	7,4	50,4
I	7	1,600	0,89	6,09	0,25	35,9	1,6	6,8	41,7
II	7	1,503	0,59	6,16	0,30	49,7	1,1	10,4	47,9
III	7	1,517	0,46	3,70	0,20	42,0	0,8	8,0	54,1
I	28	1,487	0,91	7,95	0,28	44,7	1,7	8,7	35,7
II	28	1,483	0,78	7,38	0,30	47,1	1,5	9,5	39,2
III	28	1,452	0,75	4,14	0,31	25,6	1,3	5,5	75,5

Sumber: Hasil Penelitian