

**PENGARUH JARAK *TRANSDUCER* DAN TULANGAN PADA PENGUKURAN  
KEDALAMAN RETAK BETON MENGGUNAKAN *ULTRASONIC PULSE VELOCITY*  
(UPV)**

**Fajar Surya Herlambang<sup>1)</sup>, Evin Yudhi Setyono<sup>2)</sup>**

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali,

Jl. Raya Kampus Udayana, Bukit Jimbaran, Badung Selatan, Bali 80364

E-mail: suryاهرlambang@pnb.ac.id

***ABSTRACT***

*One of the most frequent problems with concrete structures is cracking. The cause of cracking can be various kinds and types of cracks generated also vary. Excessive load on a column can result in cracks. The crack pattern usually extends along the longitudinal axis and does not spread. Because of this clear pattern, the measurement of crack width and crack depth can be performed. One way to know the depth of the crack is by UPV test. The UPV test is performed by releasing ultrasonic waves from the transducer and measuring the wave velocity up to the receiver. This wave velocity is the main variable in the analysis. Because there is a reinforcement inside the concrete, it is feared that the reinforcement will affect the wave speed so that the analysis becomes inaccurate. Therefore, we conducted a study comparing wave velocity on non-reinforced and reinforced concrete. The crack depth of the UPV test will be analyzed by the equation of BS 1881. The test specimens for this study are in the form of blocks consisting of non-reinforced beams and beams with deform and undeform reinforcement. Into the conditioned crack is 10, 20, 30 mm at age 28 days and transducer distance are 10, 14, and 18 cm. It is observed that the transducer distance takes effect on the crack depth estimation.*

***Keywords: Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), BS 1881, Bungey, crack depth***

**ABSTRAK**

Salah satu masalah yang paling sering terjadi dengan struktur beton adalah retak. Penyebab retak bisa bermacam-macam dan jenis retak yang dihasilkan juga bervariasi. Beban yang berlebihan pada kolom bisa mengakibatkan retakan. Pola retak biasanya meluas sepanjang sumbu membujur dan tidak menyebar. Karena pola yang jelas ini, pengukuran lebar retak dan kedalaman retakan dapat dilakukan. Salah satu cara untuk mengetahui kedalaman retak adalah dengan uji UPV. Uji ini dilakukan dengan memancarkan gelombang ultrasonik dari transduser dan mengukur kecepatan gelombang ke penerima. Kecepatan gelombang ini adalah variabel utama dalam analisis. Karena ada penguatan di dalam beton, dikhawatirkan penguatan tersebut akan mempengaruhi kecepatan gelombang sehingga analisa menjadi tidak akurat. Oleh karena itu, kami melakukan penelitian yang membandingkan kecepatan gelombang pada beton bertulang dan tidak diperkuat. Kedalaman retak uji UPV akan dianalisis dengan persamaan BS 1881. Spesimen uji untuk penelitian ini adalah dalam bentuk balok yang terdiri dari balok dan balok yang tidak diperkuat dengan tulangan deform dan undeform. Ke dalam retak terkondisi adalah 10, 20, 30 mm pada umur 28 hari dan jarak transduser adalah 10, 14, dan 18 cm. Diperoleh hasil bahwa jarak transduser berpengaruh pada estimasi kedalaman retak.

**Kata kunci :Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), BS 1881, Bungey, kedalaman retak**

**PENDAHULUAN**

Struktur beton bertulang merupakan salah satu materi pokok yang digunakan sebagai struktur bangunan baik itu gedung, jalan, jembatan dan bendungan. Begitu pentingnya beton bertulang hingga semua aspek teknisnya diatur dalam peraturan dan telah menjadi suatu standar (SNI). Beton yang baik sangat penting untuk mendapatkan

struktur yang aman, nyaman dan tahan lama. Aman dalam arti mampu menerima beban yang bekerja baik beban mati maupun beban hidup termasuk gempa sesuai dengan fungsinya. Nyaman digunakan oleh pengguna karena mampu menghilangkan rasa khawatir apakah kuat atau tidak. Dari kedua aspek tersebut yang tak kalah pentingnya adalah memiliki umur pemakaian yang lama sesuai dengan perencanaannya. Hal ini penting karena biaya konstruksi sangat mahal dapat mencapai 45% dari biaya pembangunan sebuah gedung.

Dalam pembangunan konstruksi bangunan, pekerjaan beton mendapat perhatian yang sangat besar. Hal ini tidak berlebihan karena pelaksanaan dan pengawasan yang baik diharapkan memberikan hasil beton yang baik sesuai yang diharapkan. Suatu struktur yang telah jadi dan masih digunakan juga dapat mengalami kerusakan. Beberapa kejadian dapat menjadi penyebab kerusakan pada beton. Kerusakan yang terjadi biasanya berupa retak-retak, lendutan yang berlebihan dan pengelupasan lapisan selimut beton. Secara umum retak dapat dibedakan menjadi retak *longitudinal* searah sumbu batang, retak memotong penampang (*crossing*), retak diagonal dan retak yang menyebar pada permukaan beton. Pada elemen balok, retak yang terjadi biasanya *crossing* pada tengah bentang yang diakibatkan karena lendutan yang berlebihan dan retak diagonal pada tepi balok yang diakibatkan oleh gaya geser yang sangat besar seperti terjadinya gempa. Pada elemen kolom, retak dapat terjadi ditengah bentang karena tekuk yang dialami kolom dan retak longitudinal searah sumbu batang pada area sekitar perletakan yang disebabkan momen yang besar atau *over stresses* pada baja tulangan yang mana beton masih belum cukup keras. Pada plat lantai biasanya retak terjadi di tengah permukaan akibat beban lantai yang berlebihan.

Mengetahui kedalaman retak sangatlah penting. Kedalaman retak yang telah diketahui dapat mengurangi dimensi penampang elemen struktur. Namun demikian struktur masih dapat dianalisis dengan penampang yang baru sesuai dimensi yang masih utuh. Dengan demikian dapat diketahui kapasitas sisa dari struktur. Kapasitas sisa inilah yang harus dibandingkan dengan beban yang bekerja sehingga dapat diputuskan struktur masih dapat digunakan atau tidak. Yang menjadi persoalan adalah bagaimana cara mengetahui kedalaman retak yang terjadi.

Perkiraan kedalaman retak dapat dilakukan dengan uji menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Sujiati Jepriani (2008) dalam tesisnya melakukan penelitian

untuk mengetahui akurasi kedalaman retak beton dengan UPV. Dari penelitian yang dilakukannya diketahui bahwa uji UPV dengan metode *Indirect* dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman retak dan jarak *transducer* mempengaruhi hasil pengukuran. Analisis kedalaman retak menggunakan 2 metode analisis. Dari metode 1 dihasilkan akurasi kedalaman retak sebesar 15,41% untuk jarak *transducer* 30 cm, akurasi 16,85% untuk jarak *transducer* 15-30 cm. Sedangkan dengan metode analisis 2 diperoleh akurasi sebesar 27,5% dan 124,09%. Dyah Sulistyani R dan Sumaryanto (2010) melakukan pendeteksian kedalaman retak beton dengan PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non Destructive Indicating Tester*). Adapun jarak *transducer* yang digunakan adalah 150 mm dan 300 mm. Hasil pendeteksian diketahui bahwa kedalaman retak pada area 1 adalah 80-299 mm, pada area 2 kedalaman retak 80-98 mm, pada area 3 kedalaman retak sebesar 58-63 mm. Dengan demikian keretakan beton sangat bervariasi.

Penelitian oleh Sujiati Jepriani (2008) masih memberikan tingkat akurasi yang kecil dan variasi sangat besar. Hal ini tentu harus dikaji kembali apalagi struktur beton juga mengandung tulangan yang dapat saja mempengaruhi hasil pengukuran. Sedangkan pada penelitian oleh Dyah Sulistyani R dan Sumaryanto (2010) tidak memberikan tingkat keakurasian hasil pengukuran sehingga hasil uji masih dapat dipertanyakan. Untuk itu perlu dilakukan sebuah penelitian yang komprehensif agar pengujian ini dapat dipastikan kebenarannya. Dengan demikian dapat disampaikan bahwa penelitian ini memiliki tingkat kepentingan yang tinggi karena mengetahui kedalaman retak sangat penting dan penggunaan UPV sebagai sebuah metode pengukuran harus dikuasai dengan baik agar dapat memberi kepastian ketepatan hasil pengukuran. Selain itu dengan dipahaminya metode UPV ini dapat menjadi materi praktikum mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menyelidiki pengaruh jarak *transducer* terhadap akurasi perhitungan kedalaman retak beton. Retak pada balok beton 150 x 150 x 600 mm dikondisikan dengan posisi tegak lurus terhadap permukaan dan kedalaman tertentu yakni 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Uji ultrasonik dilakukan dengan alat UPV tipe V-Meter Mark IV James Instrument, penempatan *transducer* hanya dilakukan secara *indirect test*

melalui metode Bungey dan BS 1881. Masing-masing *transducer* diletakkan dengan jarak ( $x$ ) bervariasi mulai dari 10 cm, 14 cm, dan 18 cm.

### 3.1. Benda Uji Balok Beton

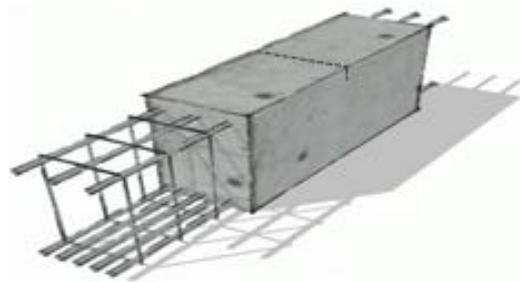
Sembilan buah balok beton diperlukan sebagai media pengujian. Masing-masing tiga buah beton non-tulangan, tiga buah beton bertulang dengan tulangan pokok polos dan tiga buah beton bertulang dengan tulangan pokok ulir. Jumlah benda uji ini ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini,

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

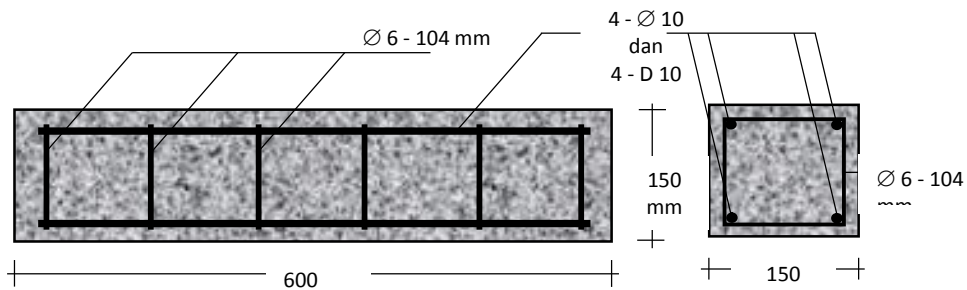
Kedalaman Retak (mm)	Benda Uji		
	Tanpa Tulangan	Tulangan Polos	Tulangan Ulir
10	1	1	1
20	1	1	1
30	1	1	1
Jumlah	3	3	3

Sumber : Data primer, Tahun 2017

Balok beton tersebut akan dibuat dari beton yang memiliki mutu yang sama dengan faktor air semen (FAS) sebesar 0,5. Benda uji akan di uji pada umur 28 hari dengan dimensi 150 x 150 x 600 mm. Baja tulangan pokok yang digunakan berdiameter 10 mm dan sengkang yang digunakan berdiameter 6 mm. Tebal selimut beton yang dipakai sebesar 40 mm dari tepi tulangan sengkang seperti diperlihatkan pada gambar 1 dan 2 di bawah ini.



Gambar 1. Ilustrasi benda uji dengan retak melintang



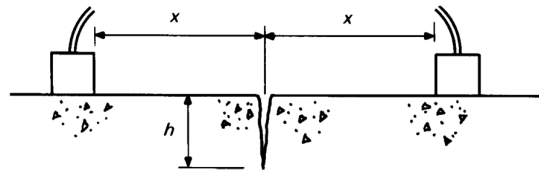
Gambar 2. Ilustrasi tulangan pada benda uji

**3.2. Pelaksanaan Pengujian Ultrasonik**

Pengujian ultrasonik akan dilakukan di laboratorium Material Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali. Alat UPV yang digunakan adalah NDT James Instrumen tipe UPV V-meter Mark IV. Pengambilan data dilakukan secara *indirect test* melalui 2 metode yakni metode Bungey dan BS 1881 dengan variasi jarak *transducer*.

**3.2.1. Metode Bungey**

Metode pertama ini dikemukakan dalam Bungey, dkk (2006), dalam hal ini jarak kedua *transducer* adalah sama terhadap retakan.



Gambar 3. Estimasi Kedalaman Retak Metode Bungey

Kedalaman retak beton dapat ditentukan menurut persamaan 1 berikut :

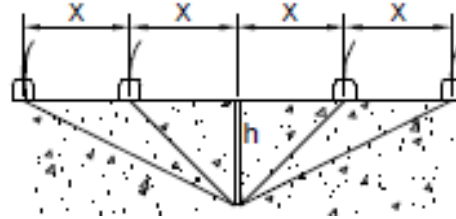
$$h = x \sqrt{\left(\frac{T_c^2}{T_s^2} - 1\right)} \quad (1)$$

dengan :

- $x$  = jarak *transducer* ke retakan
- $T_c$  = waktu yang ditempuh gelombang saat ada retakan
- $T_s$  = waktu yang ditempuh gelombang tanpa retakan

### 3.3.2. Metode BS 1881

Selanjutnya, metode kedua yang akan digunakan adalah berdasarkan *British Standard* 1881, estimasi kedalaman retak dapat ditentukan dengan mengukur waktu transit gelombang yang melewati retakan dengan penempatan posisi *transducer* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Estimasi Kedalaman Retak Metode BS 1881

*Transmitter* dan *receiver* diletakkan berlawanan diantara retakan dengan jarak yang sama misalkan disebut sebagai  $x$ , maka waktu transit yang terukur adalah  $T_1$ . Kemudian, kedua *transducer* diletakkan menjauhi retakan dengan jarak dua kali jarak awal ( $2x$ ) dan waktu transit yang terukur adalah  $T_2$ . Kedua waktu transit gelombang ultrasonik yang terukur tersebut digunakan untuk menentukan kedalaman retak dengan persamaan 2.

$$h = x \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}} \quad (2)$$

dengan :

- $x$  = jarak *transducer* ke retakan
- $T_1$  = waktu yang ditempuh gelombang saat jarak  $x$
- $T_2$  = waktu yang ditempuh gelombang saat jarak  $2x$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

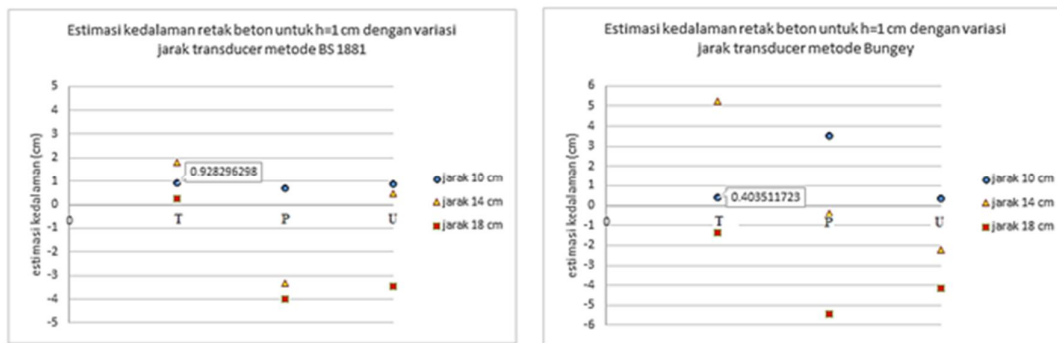
Hasil pengukuran kedalaman retak menggunakan metode BS 1881 dan Bungey dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini. Benda uji yang digunakan adalah beton tanpa tulangan (T), beton betulang polos (P), dan beton bertulang ulir (U) dengan kedalaman retak ( $h$ ) buatan sebesar 1, 2, 3 cm dan dengan variasi jarak transducer UPV sebesar 10 cm, 14 cm dan 18 cm.

Tabel 2. Hasil Pengukuran

NO	SAMPSEL	h riil (cm)	jarak transducer (cm)	BS 1881			BUNGEY		
				T1 (μS)	T2 (μS)	h ukur (cm)	Tc (μS)	Ts (μS)	h ukur (cm)
1	T	1	10	28.9	54.3	0.928296	28.9	27.8	0.403512
2			14	43.6	80.2	1.810297	43.6	38.3	5.21804
3			18	49.9	98.7	0.270992	49.9	55.1	-1.36656
4		2	10	37.2	65.3	2.206874	37.2	21.5	9.968524
5			14	41.8	88.6	-0.98759	41.8	41.5	1.303835
6			18	52.3	141.9	-4.75566	52.3	71.8	-5.94967
7		3	10	39.5	67.5	2.811666	39.5	24.7	7.722385
8			14	49.8	81.7	5.415424	49.8	38.3	5.21804
9			18	53.2	113.9	-1.46606	53.2	57.2	-1.21473
10	P	1	10	30.5	58.2	0.679205	30.5	22.9	3.52396
11			14	43.3	112	-3.30966	43.3	44.5	-0.37244
12			18	53.2	134.4	-3.98353	53.2	84.4	-5.42414
13		2	10	37.1	66.3	1.838104	37.1	34.9	6.22852
14			14	46.5	125.2	-3.63968	46.5	66.1	-3.53582
15			18	55.7	139.1	-3.84393	55.7	81.9	-4.80726
16		3	10	38.6	64.7	3.289437	38.6	26.8	4.685412
17			14	48	102	-1.02667	48	45.4	0.82472
18			18	61.8	133	-1.56516	61.8	68.8	-1.73823
19	U	1	10	29.3	55.2	0.883964	29.3	28.3	0.3596
20			14	39.1	76.4	0.452157	39.1	47.2	-2.19639
21			18	53.2	128.9	-3.45654	53.2	72.3	-4.14538
22		2	10	31.9	57	1.840646	31.9	24.5	3.42349
23			14	39.4	128.7	-4.84048	39.4	58.8	-3.85706
24			18	65.1	149.3	-2.66147	65.1	90.4	-4.3756
25		3	10	44.3	72.5	3.937309	44.3	28.5	7.080579
26			14	52	128.8	-2.91054	52	50.7	0.420328
27			18	51.8	131.3	-4.023	51.8	57.8	-1.77153

Sumber : Data sekunder yang diolah, Tahun 2017

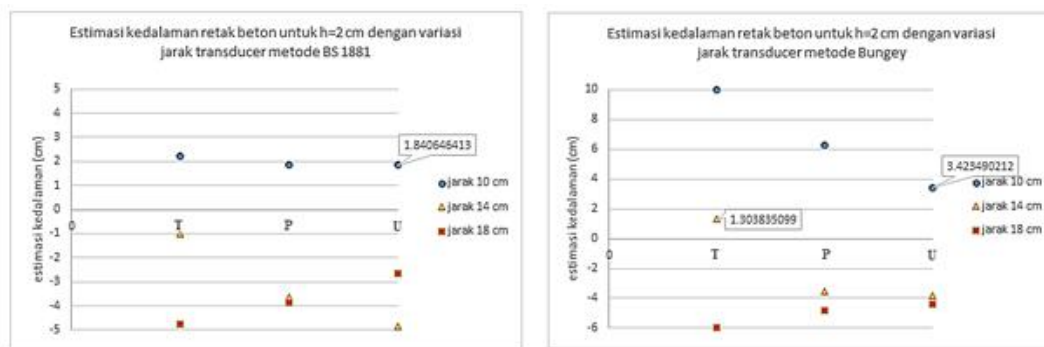
Gambar 5-7 berikut menyajikan perbandingan estimasi pengukuran retak menurut variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm dengan 2 metode yakni metode BS 1881 dan Bungey.



Gambar 5. Grafik estimasi metode BS1881 & Bungey untuk h = 1 cm

Grafik diatas menyajikan estimasi kedalaman retak hasil pengukuran dengan UPV metode BS 1881 pada beton tak bertulang, beton tulangan polos dan ulir pada kedalaman retak riil h = 1 cm dan variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm.

Terlihat bahwa estimasi terbaik diperoleh ketika transducer diatur pada jarak 10 cm, hal ini berlaku pada ketiga jenis beton uji. Namun, saat transducer digeser lebih jauh yakni pada jarak 14 cm dan 18 cm diperoleh beberapa estimasi yang tidak valid dan bernilai negatif. Pada metode Bungey beton tak bertulang, beton tulangan polos dan ulir pada kedalaman retak riil  $h = 1$  cm dan variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm. Hasil yang sama terlihat bahwa estimasi terbaik diperoleh ketika transducer diatur pada jarak 10 cm, hal ini berlaku pada ketiga jenis beton uji. Namun, saat transducer digeser lebih jauh yakni pada jarak 14 cm dan 18 cm diperoleh beberapa estimasi yang tidak valid dan bernilai negatif.

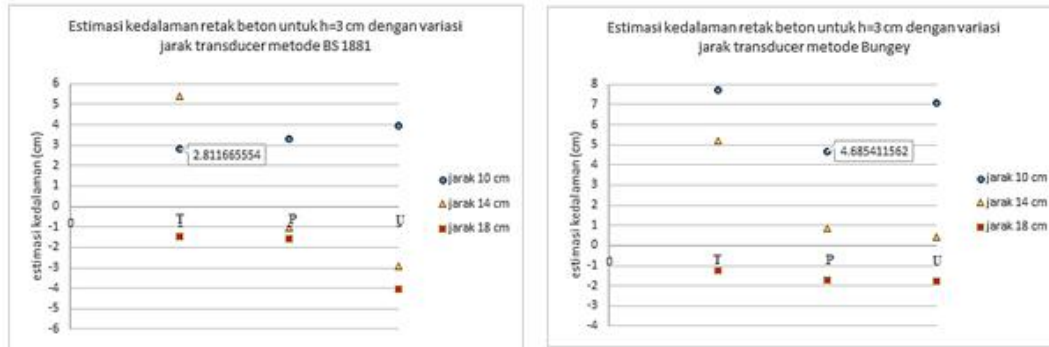


Gambar 6. Grafik estimasi metode BS1881 & Bungey untuk  $h = 2$  cm

Gambar 6 diatas menyajikan grafik estimasi kedalaman retak hasil pengukuran dengan UPV metode BS 1881 pada beton tak bertulang, beton tulangan polos dan ulir pada kedalaman retak riil  $h = 2$  cm dan variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm. Terlihat bahwa estimasi terbaik diperoleh ketika transducer diatur pada jarak 10 cm, hal ini berlaku pada ketiga jenis beton uji. Namun, saat transducer digeser lebih jauh yakni pada jarak 14 cm dan 18 cm diperoleh semua estimasi tidak valid dan bernilai negatif. Sedangkan metode Bungey pada beton tak bertulang, beton tulangan polos dan ulir pada kedalaman retak riil  $h = 2$  cm dan variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm. Terlihat bahwa pada jarak transducer 10 cm, estimasi pengukuran kedalaman retak yang diberikan oleh ketiga jenis beton memiliki rentang 3-10 cm dengan nilai terbaik sebesar 3,423 cm. Hasil tersebut belum mendekati nilai kedalaman sebenarnya sebesar  $h=2$  cm. Saat transducer digeser ke jarak 14 cm terdapat satu pengukuran yang memiliki estimasi yang lebih baik yakni sebesar 1,303 cm. Namun tidak berlaku untuk



ketiga jenis beton uji, pengukuran pada beton bertulang mendapatkan hasil yang tidak valid. Hasil serupa juga terlihat saat jarak kembali digeser menjadi 18 cm, semua hasil pengukuran pada ketiga jenis beton uji mendapatkan hasil yang tidak valid dan bernilai negatif.



Gambar 7. Grafik estimasi metode BS1881 & Bungey untuk h = 3 cm

Gambar 7 diatas menyajikan grafik estimasi kedalaman retak hasil pengukuran dengan UPV metode BS 1881 pada beton tak bertulang, beton tulangan polos dan ulir pada kedalaman retak riil h = 3 cm dan variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm. Terlihat bahwa estimasi terbaik diperoleh ketika transducer diatur pada jarak 10 cm, hal ini berlaku pada ketiga jenis beton uji. Namun, saat transducer digeser lebih jauh yakni pada jarak 14 cm dan 18 cm diperoleh hampir semua estimasi tidak valid dan bernilai negatif. Sedangkan, metode Bungey pada beton tak bertulang, beton tulangan polos dan ulir pada kedalaman retak riil h = 3 cm dan variasi jarak transducer 10 cm, 14 cm, dan 18 cm. Terlihat bahwa pada jarak transducer 10 cm, estimasi pengukuran kedalaman retak yang diberikan oleh ketiga jenis beton memiliki rentang 4-7 cm dengan nilai terbaik sebesar 4,685 cm. Hasil tersebut belum mendekati nilai kedalaman sebenarnya sebesar h=3 cm. Saat transducer digeser ke jarak 14 cm dan 18 cm, hampir semua hasil pengukuran pada ketiga jenis beton uji mendapatkan hasil yang tidak valid dan bernilai negatif.

Berdasarkan grafik-grafik diatas, terlihat bahwa estimasi kedalaman retak terbaik dihasilkan oleh metode BS 1881 saat transducer berjarak 10 cm. Pada jarak tersebut, ketiga jenis beton uji lebih mampu memberikan estimasi kedalaman retak dengan akurasi yang baik jika dibandingkan dengan metode Bungey. Akurasi estimasi



2. Dari ketiga jarak transducer yang diujicobakan yakni 10 cm, 14 cm, dan 18 cm, estimasi kedalaman retak yang terbaik dihasilkan oleh pengaturan jarak transducer 10 cm dengan rata-rata akurasi sebesar 92,07%.
3. Pada metode BS 1881, khususnya pada jarak transduser 10 cm tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara hasil estimasi kedalaman jenis beton tanpa tulangan maupun bertulang.
4. Metode BS 1881 lebih baik digunakan dalam pengukuran kedalaman retak dibandingkan metode Bungey.

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Standart Testing Materials (ASTM), C 42/C 42M - 04, "*Standar Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*", USA
- Arwanto, R., 2006, "*Respon kuat tekan hammer test dengan compression test pada beton normal dan beton pasca bakar* ", Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 14, No. 1, Edisi XXXIV, Semarang.
- Herlambang, Fajar Surya., Sudiarta, I Komang., 2015, "*Kuat tekan beton pasca kebakaran pada struktur beton bertulang di Pasar Seririt, Buleleng, Bali*", Logic Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi, ISSN : 1412-114x, Volume 15, No. 1, Maret 2015, hlm. 23-27, Jimbaran.
- Jepriani, Sujati, 2014, "*Teknik ultra pulse velocity untuk menentukan kuat tekan beton pada berbagai variasi umur beton : suatu perbandingan terhadap metode uji kuat tekan beton*", Prosiding Seminar Nasional Ketekniksipilan Bidang Vokasional II, 18-19 September 2014, Denpasar.
- Nugraha, Paul., Antoni, 2004, "*Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke beton Kinerja Tinggi*", CV. Andi Offset, Yogyakarta.
- Sudarmadi, 2010, "*Pengkajian kekuatan beton struktur jembatan pasca kebakaran*", Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, Volume 12, No. 3, Serpong.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 03-2847-2002, "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk bangunan Gedung*", Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 03-2492-2002, "*Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti*", Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 03-4802-1998, "*Metode Pengujian Kecepatan Pulsa Melalui Beton*", Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 03-4430-1997, "*Metode Pengujian Elemen Struktur Beton Dengan Alat Palu Beton Tipe N Dan NR*", Badan Standarisasi Nasional.