

## PENGARUH JARAK TERHADAP INTERVAL WAKTU PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN BETON PADA UJI THERMOGRAPHY AKTIF

Suyadi K<sup>1</sup>, Herlien D Setio<sup>2</sup>, Adang S<sup>3</sup> dan Ediansjah Z<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>Program Studi Doktor Teknik Sipil, FTSL, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganessa No. 10, Bandung 40132, Indonesia  
Email: [suyadi.1974@eng.unila.ac.id](mailto:suyadi.1974@eng.unila.ac.id)

### ABSTRACT

Concrete surface temperature changes on active thermography testing process using a halogen lamp will occur in a relatively short time. These changes are very useful in the image interpretation process which relies on changes in thermal contrast to determine the internal conditions of reinforced concrete. This research aims to determine the time interval dominance concrete surface temperature changes due to changes in object distance to the heat source as the excitation source of heat. Tests carried out in the room, so that the concrete surface temperature changes due to the effects of wind are considered small. Measurement of the temperature of the concrete surface due to the heating and cooling process using thermocouples and thermography methods. Halogen lamps are used as a source of heat excitation placed at various distances ( $d_{obj}$ ), namely 20 cm; 30 cm and 40 cm. The distance between the halogen lamp axles in this study was 30 cm. The dimensions of the test object were used 10 cm x 10 cm x 15 cm with a concrete quality of 20 MPa. The frequency percentage is analyzed according to the amount of data with the same time interval for the change in surface temperature at each distance of the specimen from the heat source. The results showed that the change in the distance of the specimen to the heat source up to 40 cm had a quite small difference, but the increase in the distance between the test object and the heat source tended to decrease the dominance of changes in the temperature of the concrete surface. The average dominance of changes in the temperature of the concrete surface is almost above 75% of the temperature change occurs at the smallest interval of the measuring instrument used, namely 1 second using a thermocouple and 0,133 seconds using the thermography method. The highest percentage shows that changes in surface temperature often occur in the range of time intervals. So based on this analysis without reviewing aspects of the distribution pattern of the data, can be concluded that the surface temperature testing of concrete by using active thermography in the room had to use measuring devices that can record temperature changes every interval of 0.133 seconds. This shows that the change in the temperature of the concrete surface during active thermography testing, the setting of the test instrument for measuring temperature changes is used in that time interval.

Keywords: time interval, active thermography and thermal contrast

### ABSTRAK

Perubahan suhu permukaan beton pada proses pengujian thermography aktif dengan menggunakan lampu halogen akan terjadi dalam waktu relatif singkat. Perubahan tersebut sangat berguna dalam proses interpretasi image yang mengandalkan perubahan *thermal contrast* untuk mengetahui kondisi internal beton bertulang. Riset ini bertujuan untuk mengetahui dominasi interval waktu terjadinya perubahan suhu permukaan beton akibat perubahan jarak benda terhadap sumber panas sebagai sumber eksitasi panas. Pengujian dilakukan di dalam ruangan, sehingga perubahan suhu permukaan beton akibat pengaruh angin dianggap kecil. Pengukuran suhu permukaan beton akibat proses pemanasan dan pendinginan menggunakan thermocouple dan metode thermography. Lampu halogen digunakan sebagai sumber eksitasi panas diletakkan pada berbagai jarak ( $d_{obj}$ ) yaitu 20 cm; 30 cm dan 40 cm. Jarak antar as lampu halogen pada penelitian ini sebesar 30 cm. Dimensi benda uji digunakan 10 cm x 10 cm x 15 cm dengan mutu beton 20 MPa. Prosentase frekuensi dianalisis menurut jumlah data dengan interval waktu terjadinya perubahan suhu permukaan yang sama pada masing-masing jarak benda uji terhadap sumber panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan jarak benda uji ke sumber panas sampai dengan 40 cm mempunyai perbedaan yang cukup kecil, namun peningkatan jarak benda uji ke sumber panas cenderung menurunkan dominasi perubahan suhu permukaan beton. Rata-rata dominasi perubahan suhu permukaan beton hampir di atas 75% perubahan suhu terjadi pada interval terkecil alat ukur yang digunakan yaitu 1 detik menggunakan thermocouple dan 0,133 detik menggunakan metode thermography. Prosentasi tertinggi menunjukkan bahwa perubahan suhu

permukaan sering terjadi pada rentang interval waktu tersebut. Sehingga berdasarkan analisis ini tanpa meninjau aspek pola sebaran data, dapat disimpulkan bahwa pengujian suhu permukaan beton dengan menggunakan metode thermography aktif dalam ruangan harus menggunakan alat ukur yang dapat mencatat perubahan suhu tiap interval 0,133 detik. Ini menunjukkan bahwa perubahan suhu permukaan beton saat pengujian thermography aktif setting alat uji pengukuran perubahan suhu digunakan rentang waktu tersebut.

Kata kunci: interval waktu, thermography aktif dan *thermal contrast*

## 1. PENDAHULUAN

Suhu permukaan beton merupakan faktor input utama interpretasi image hasil pengukuran thermography aktif untuk memperoleh kondisi beton bertulang. Tingkat keberhasilan metode ini salah satunya tergantung pada sensitivitas alat ukur dalam mendeteksi dan mengakuisisi perubahan suhu permukaan beton yang terjadi selama proses pengujian. Semakin sensitiv alat ukur dalam mendeteksi perubahan suhu permukaan beton akan semakin mempermudah dalam proses interpretasi image untuk menentukan kondisi beton. Pengukuran suhu permukaan beton pada riset ini menggunakan metode thermography inframerah dan thermocouple. Riset ini bertujuan untuk mengetahui dominasi interval waktu terjadinya perubahan suhu permukaan beton akibat perubahan jarak benda terhadap sumber panas sebagai sumber eksitasi panas. Lampu halogen sebesar 2x 500 watt digunakan sebagai sumber eksitasi panas diletakkan pada 3 (tiga) variasi jarak terhadap benda uji. Proses pemanasan dan pendinginan dicatat dalam waktu masing-masing 30 menit. Perubahan data suhu permukaan sekecil apapun pada interval waktu yang relatif singkat harus dapat tercatat, karena hal itu berkaitan dengan proses identifikasi kerusakan beton berdasarkan interpretasi image thermal (thermogram). Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai acuan peneliti dalam menentukan interval waktu pengukuran suhu permukaan beton dan jenis alat ukur suhu terutama berkaitan dengan respon waktu alat pengukur suhu yang digunakan ketika pengujian thermography aktif sebagai pilihan.

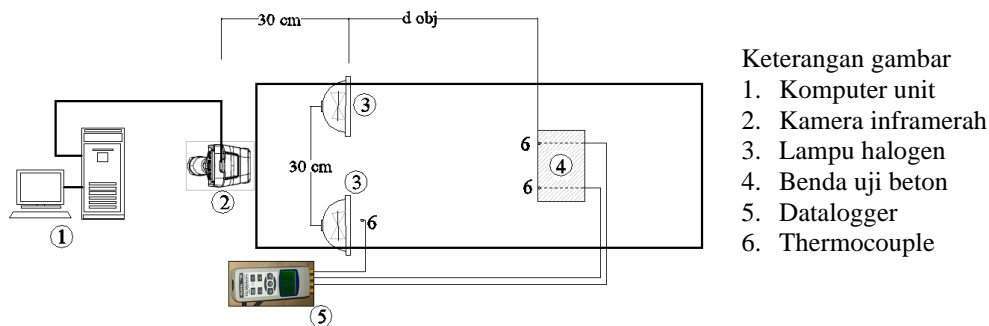
## 2. MATERIAL DAN METODE

Beton bertulang yang digunakan sebagai benda uji mempunyai dimensi 10 cm x 10 cm x 15 cm. Dua (2) buah thermocouple ditanam pada benda uji beton dan dikaitkan pada sebuah baja tulangan yang tertanam pada beton. Posisi masing-masing thermocouple T1 dan T2 seperti terlihat pada Gambar 1. Thermocouple diletakkan rupa sedemikian sehingga saat benda uji mengeras, ujung thermocouple rata dan menyentuh permukaan beton seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemasangan thermocouple untuk pengujian pengukuran permukaan beton

Hasil penelitian Moria H, Mohamad T I dan Aldawi F. (2016) menyebutkan bahwa deteksi cahaya lampu halogen 500 watt akan optimum pada jarak 40 cm dan jarak antar sisi lampu halogen 15 cm. Merujuk hasil riset tersebut dan pertimbangan aplikasi pengujian, maka pemanasan suhu permukaan beton menggunakan lampu halogen 2 x 500 watt diletakkan pada jarak 20 cm; 30 cm dan 40 cm dari benda uji. Dan jarak antar sisi lampu halogen sebesar 15 cm (jarak antar as lampu 30 cm). Pengukuran suhu permukaan beton menggunakan thermocouple dan metode thermography. Pengujian thermography menggunakan kamera inframerah FLIR E-8XT resolusi 240 x 360, dan sensitivitas thermal sebesar 0,05°C yang diletakkan sejarak 30 cm di belakang lampu halogen seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Installing penempatan benda uji, thermocouple dan kamera inframerah

Pengukuran suhu permukaan dilakukan pada tahap pemanasan (penyinaran) dan tahap pendinginan masing-masing selama 30 menit. Ketelitian bacaan pengukuran suhu permukaan menggunakan thermocouple adalah 1/10 °C. Data pengukuran menggunakan metode thermography diperoleh dari *digital number* (DN) thermogram (image hasil proses thermography) yang mempunyai bacaan terkecil 1/1000 °C. Jumlah data pengukuran sebanyak 3 (tiga) buah, dan analisa data dilakukan berdasarkan rata-rata ketiganya

Klaseterisasi data interval waktu menurut perubahan data suhu permukaan yang terjadi antara saat itu ( $t_i$ ) dengan waktu sebelumnya ( $t_{i-1}$ ). Nilai “0” menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan suhu permukaan pada selang waktu yang ditinjau. Perubahan suhu permukaan beton diperoleh dengan persamaan 1) :

$$\Delta T_{i-(i-1)} = T_i - T_{i-1} \dots \dots \dots 1)$$

dengan  $\Delta T_{i-(i-1)}$  = deviasi suhu saat  $t_i$  sampai  $t_{i-1}$ ,  $T_i$  = suhu permukaan saat  $t = i$ ,  $T_{i-1}$  = suhu permukaan saat  $t = i-1$ .

Klasterisasi perubahan suhu disesuaikan dengan bacaan terkecil data pengukuran suhu permukaan, hal ini bertujuan untuk optimalisasi hasil pengujian berdasarkan kemampuan alat ukur yang digunakan. Sehingga setting akuisisi data pengukuran suhu menggunakan thermocouple sebesar 1 detik dan hasil analisis digital number dari thermogram sebesar 0,133 detik. Karena bacaan terkecil pengukuran menggunakan thermocouple berbeda dengan hasil analisis dari thermogram, maka analisis klasterisasi dipisahkan antara keduanya. Klasterisasi perubahan suhu dibuat menurut interval waktu tidak terjadinya perubahan suhu permukaan beton. Mutu beton pada penelitian ini adalah 20 Mpa, ini disebabkan mutu tersebut merupakan mutu beton normal klas II yang digunakan untuk pekerjaan struktural secara umum. Nilai interval waktu menunjukkan bahwa perubahan suhu permukaan terjadi setelah skala selang waktu tersebut terlewati. Besarnya interval waktu diperoleh dengan mengalikan jumlah data yang sama secara berurutan dengan skala selang waktu, seperti terlihat pada hasil pengujian di bawah ini.

Tabel 1. Analisis jumlah data yang sama pada pengukuran dengan thermocouple

No Data	Time	Suhu T1 (°C)	Suhu T2 (°C)	Suhu T3 (°C)	ti (sec)	ΔT2 T3		Jumlah Data Sama	
						°C	°C	T2	T3
3643	08:40:00	28	30.8	30.9	0	0			
<b>3644</b>	<b>08:40:01</b>	<b>28</b>	<b>30.8</b>	<b>30.9</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
3645	08:40:02	29.6	30.8	30.9	2	0	2		
3646	08:40:03	33	30.8	30.9	3	0	3		3
3647	08:40:04	35.4	30.8	31	4	0	1		1
3648	08:40:05	35.4	30.8	31.1	5	0	1		1
3649	08:40:06	37.9	30.8	31.2	6	0	1	6	1
3650	08:40:07	39.5	30.9	31.4	7	0.1	1		1
3651	08:40:08	41	30.9	31.6	8	0	1	2	
3652	08:40:09	42.2	31	31.6	9	0.1	2		2

Skala selang waktu untuk pengukuran dengan thermocouple sebesar 0,1 detik dan metode thermography sebesar 0,133 detik. Analisis perubahan suhu permukaan sebesar 0,1 °C (menggunakan thermocouple) dan 0,01 (metode thermography). Analisis data dilakukan pada tiap tahap eksitasi benda uji yaitu tahap pemanasan (penyinaran) dengan lampu halogen dan tahap pendinginan. Penggunaan lampu halogen sebagai sumber panas telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Bojan Milovanović dan Ivana Banjad Pečur (2016) yang menggunakan lampu halogen 1000 watt untuk proses pemanasan dalam riset tentang komponen dasar pengujian thermography untuk

deteksi kerusakan pada beton. Peneliti Jungwon Huh dkk (2016) juga menggunakan lampu halogen 500 watt sebanyak 2 (dua) buah yang diletakkan sejarak 50 cm dari permukaan benda uji. Merujuk dari riset tersebut, maka pada penelitian ini digunakan lampu halogen 2 x 500 watt.

Pemisahan data awal dan akhir fase pemanasan diidentifikasi berdasarkan data suhu terukur pada thermocouple yang dipasang di depan lampu halogen (lihat Gambar 2 dan warna tebal pada Tabel 1). Data hasil pengukuran suhu permukaan beton dikelompokkan untuk mengetahui banyak data yang mengalami perubahan suhu permukaan tiap satuan interval waktu pengukuran. Hasil akan mengindikasikan bahwa untuk mengetahui perubahan suhu permukaan beton pada saat pengujian thermography aktif di dalam ruangan harus menggunakan interval waktu pengukuran minimal sebesar jumlah data yang sama dikalikan skala waktu pengukuran yang telah disebutkan sebelumnya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengukuran dengan thermocouple

Pengukuran suhu menggunakan thermocouple harus memperhatikan bahwa kedua ujung (*joint*) benar-benar menyentuh dan terkekang oleh objek tersebut seperti terlihat pada Gambar 1. Berikut ini prosentase jumlah data menurut interval waktu yang dibutuhkan untuk mengalami perubahan suhu permukaan beton.

Tabel 2. Prosentase jumlah data suhu permukaan beton pada jarak objek 40 cm

No	Interval waktu (sec)	Fase Pengukuran			
		Pemanasan		Pendinginan	
		Titik P1	Titik P2	Titik P1	Titik P2
1	1	77,13%	78,09%	76,13%	76,56%
2	2	7,12%	6,25%	7,78%	7,28%
3	3	1,43%	2,85%	2,19%	2,03%
4	4	6,25%	4,97%	7,10%	6,33%
5	5	1,37%	1,74%	0,40%	1,26%

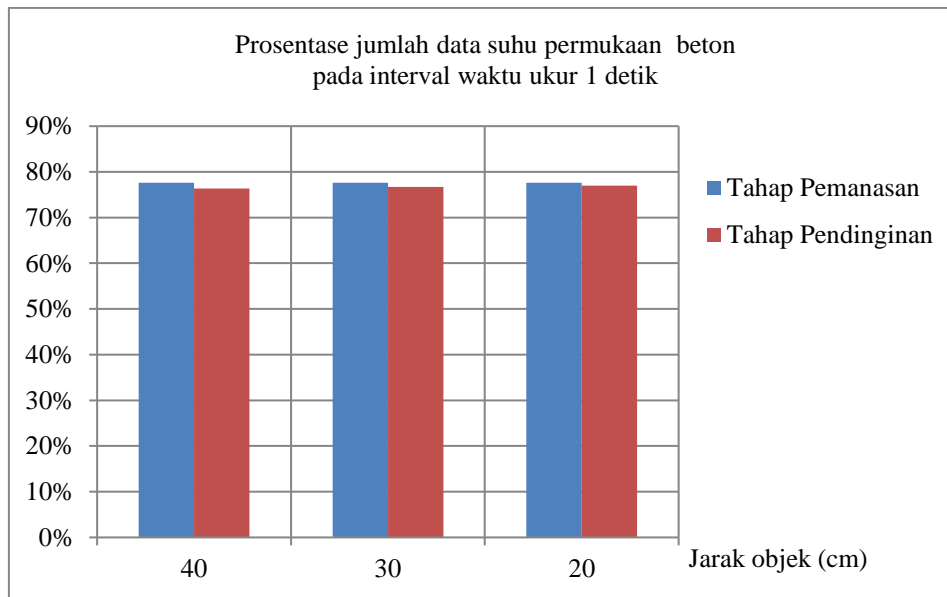
Tabel 3. Prosentase Jumlah data suhu permukaan beton pada jarak objek 30 cm

No	Interval waktu (sec)	Fase Pengukuran			
		Pemanasan		Pendinginan	
		Titik P1	Titik P2	Titik P1	Titik P2
1	1	77,20%	78,04%	76,36%	76,99%
2	2	7,30%	6,20%	7,15%	7,30%
3	3	1,71%	3,23%	2,81%	2,22%
4	4	5,76%	4,74%	6,61%	5,79%
5	5	1,77%	1,66%	0,73%	2,02%

Tabel 4. Prosentase Jumlah data suhu permukaan beton pada jarak objek 20 cm

No	Interval waktu (sec)	Fase Pengukuran			
		Pemanasan		Pendinginan	
		Titik P1	Titik P2	Titik P1	Titik P2
1	1	76,81%	78,47%	76,59%	77,42%
2	2	7,69%	5,75%	7,17%	6,70%
3	3	2,88%	4,34%	3,15%	2,93%
4	4	4,44%	3,51%	5,87%	5,31%
5	5	2,25%	1,45%	0,81%	1,68%

Dari tabel 2, 3 dan 4 di atas, terlihat bahwa dominasi perubahan suhu permukaan beton yang menggunakan *thermocouple* terjadi pada selang waktu 1 detik. Hal itu terjadi baik pada fase pemanasan (penyinaran) dan pada fase pendinginan. Namun dominasi tersebut sedikit mengalami penurunan pada fase pendinginan. Hal ini disebabkan oleh dominasi radiasi sinar lampu halogen sedikit menurun pada tahap pendinginan.



Gambar 3, Diagram prosentase jumlah data suhu permukaan interval 1 detik hasil pengukuran dengan thermocouple

Dari diagram gambar 3 di atas, terlihat bahwa semakin jauh jarak benda ke sumber panas, maka semakin kecil dominasi perubahan suhu permukaan beton dengan interval waktu 1 detik. Namun perbedaan jarak benda uji terhadap sumber panas tidaklah terlalu signifikan. Ini menunjukkan bahwa uji thermography pada jarak kamera terhadap benda uji sampai dengan 70 cm akan menghasilkan akurasi pengukuran suhu yang relatif sama. Ini berarti pengaruh faktor selain suhu lingkungan antara objek dengan kamera masih sangat kecil. Ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Waldemar, M, & Klecha, D, 2015 bahwa untuk jarak kamera dengan object yang dekat ( 3 – 5 m), nilai  $\tau \approx 1,0$ . Nilai  $\tau$  merupakan konstanta yang dipengaruhi oleh kondisi atmosfer dan jarak kamera inframerah terhadap objek, Hal ini berarti semakin jauh jarak benda uji terhadap kamera inframerah, maka perubahan suhu yang diterima oleh sensor panas dari kamera akan sering terjadi.

**Pengukuran dengan metode thermography**

Nilai *digital number* dari piksel thermogram posisi thermocouple P1 dan P2, diperoleh menggunakan **software Flir Tools**, Setting interval waktu *sequence image* thermogram saat proses pengukuran adalah 0,133 detik, Plotting data dan grafik pengukuran thermography menggunakan software Flir Tools akan menampilkan nilai suhu permukaan beton pada tiap interval tersebut, Prosentase jumlah data suhu permukaan jika diklasifikasikan menurut interval waktu seperti di bawah ini.

Tabel 5. Prosentase Jumlah data suhu permukaan beton pada jarak objek 40 cm

No	Interval waktu (sec)	Fase Pengukuran			
		Pemanasan		Pendinginan	
		Titik P1	Titik P2	Titik P1	Titik P2
1	0,133	76,80%	76,47%	76,21%	75,76%
2	0,266	18,46%	18,55%	18,58%	18,43%
3	0,399	3,89%	4,05%	4,14%	4,46%
4	0,532	0,68%	0,74%	0,84%	1,02%
5	0,665	0,14%	0,16%	0,16%	0,25%

Tabel 5 di atas memperlihatkan bahwa terjadi penurunan dominasi perubahan suhu permukaan beton dengan interval waktu 0,133 detik pada fase pendinginan. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada fase pemanasan pengaruh radiasi sinar halogen sangat dominan dalam mempengaruhi perubahan suhu permukaan beton.

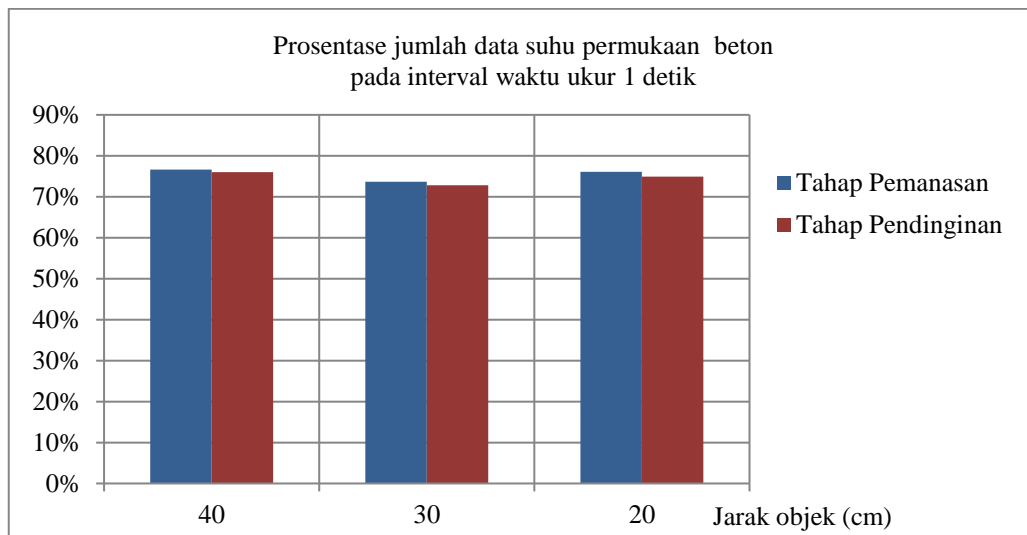
Tabel 6. Prosentase Jumlah data suhu permukaan beton pada jarak objek 30 cm

No	Interval waktu (sec)	Fase Pengukuran			
		Pemanasan		Pendinginan	
		Titik P1	Titik P2	Titik P1	Titik P2
1	0,133	73,08%	74,22%	72,29%	73,37%
2	0,266	22,35%	21,25%	22,34%	21,05%
3	0,399	3,75%	3,64%	4,25%	4,39%
4	0,532	0,63%	0,67%	0,82%	0,89%
5	0,665	0,16%	0,17%	0,24%	0,22%

Tabel 7. Prosentase Jumlah data suhu permukaan beton pada jarak objek 20 cm

No	Interval waktu (sec)	Fase Pengukuran			
		Pemanasan		Pendinginan	
		Titik P1	Titik P2	Titik P1	Titik P2
1	0,133	75,57%	76,66%	74,48%	75,40%
2	0,266	20,58%	19,34%	20,47%	19,25%
3	0,399	3,16%	3,33%	4,06%	4,18%
4	0,532	0,55%	0,53%	0,76%	0,87%
5	0,665	0,11%	0,11%	0,17%	0,21%

Hampir sama dengan tabel sebelumnya, dominasi perubahan suhu permukaan beton dengan interval 0,133 detik terlihat pada tabel 6 dan 7. Hal ini menunjukkan bahwa dengan jarak deteksi sebesar 70 cm, perubahan suhu permukaan beton akan terjadi masih dapat terdeteksi. Indikasi ini dapat digunakan bagi para peneliti yang melakukan pengajuan thermography bahwa perubahan suhu permukaan beton dapat terjadi pada interval waktu 0,133 detik. Penurunan dominasi tersebut terjadi pada fase pendinginan, hal ini disebabkan oleh berkurangnya pengaruh radiasi lampu halogen terhadap perubahan suhu permukaan beton.



Gambar 4. Diagram prosentase jumlah data suhu permukaan interval 1 detik hasil pengukuran dengan metode thermography

Diagram pada gambar 4 menunjukkan nilai yang relatif sama namun memiliki kecenderungan semakin jauh jarak benda uji terhadap sumber panas, maka dominasi perubahan suhu permukaan pada selang waktu terkecil sesuai dengan setting alat ukur semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penurunan dominasi efek radiasi dari lampu halogen dalam mempengaruhi perubahan suhu permukaan, Semakin jauh jarak benda terhadap sumber panas, maka semakin banyak *noise* yang akan menyebabkan fluktuasi suhu permukaan beton, *Noise* tersebut dapat berasal dari berbagai sumber antara lain atmosfer (suhu ruangan) yang terletak diantara benda uji dengan sumber panas, Ini menunjukkan adanya faktor lainnya di antara objek dengan sumber sinar yang mempengaruhi fluktuasi suhu permukaan beton.

Radiasi panas sinar lampu halogen yang cenderung konstan menyebabkan perubahan suhu permukaan beton akan terjadi pada selang waktu yang cukup lama, Namun selang waktu yang terjadi masih tidak lebih dari 1 detik (hasil uji thermocouple) dan 0,133 detik (pada uji thermography) hal ini berarti untuk keperluan pengukuran suhu permukaan dengan metode thermography aktif di dalam ruangan diperlukan alat ukur dengan tingkat sensitivitas ukur dalam satuan < 1 detik. Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian standar ASTM D 4788 – 03 tentang “*Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography*” yang mengharuskan resolusi minimum thermal kamera sebesar 0,2°C.

#### **4. KESIMPULAN**

Dari uraian di atas, maka dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dominasi interval waktu terjadinya perubahan suhu permukaan beton akibat perubahan jarak benda terhadap sumber panas masih terjadi pada satuan terkecil alat ukur yang digunakan yaitu 1 detik pada uji menggunakan thermocouple dan 0,133 detik pada uji thermography.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Milovanović, B. dan Pečur I. B. (2016). “Principle component thermography for defect detection in reinforced concrete structures”. Conference Paper, Department of materials, Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, Zagreb, Croatia, 1-10
- Moria, H., Mohamad, T. I. dan Aldawi, F. (2016). “Radiation distribution uniformization by optimized halogen lamps arrangement for a solar simulator”. *Journal of Scientific and Engineering Research*. 3(6), 29-34
- Jungwon, H., Quang, H. T., Jong-Han L., DongYeob H., Jin-Hee A., dan Solomon Y. (2016). “Experimental Study on Detection of Deterioration in Concrete Using Infrared Thermography Technique”. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2016, Article ID 1053856, 12 pages, 1- 12
- Waldemar, M. dan Daniel, K. (2015). “Modelling of atmospheric transmission coefficient in infrared for thermovision measurements”. Proceedings of the Sensor 2015 and IRS2 2015 AMA Conferences, Nurburg, Germany, 19 May – 21 May 2015, 903-907