

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosedur Pengukuran

Benda uji berupa tiga buah beton dengan campuran 1 : 2 : 3 berukuran 40 x 20 x 8 cm. Pada masing-masing benda uji telah diberikan retak buatan sebesar 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm dengan kedalaman retak 4 cm. Salah satu benda uji penelitian ditunjukkan seperti pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Benda uji

Pengukuran lebar retak buatan permukaan beton dilakukan dengan menggunakan tiga alat antara lain *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner*. Pengukuran dengan menggunakan *microcrack detector* dilakukan pada lebar retak buatan sebesar 1 mm, 2 mm dan 3 mm saja. Hal ini dikarenakan lebar maksimum yang dapat dibaca oleh *microcrack detector* adalah 4 mm.

(a) *Microcrack detector*

(b) Jangka sorong

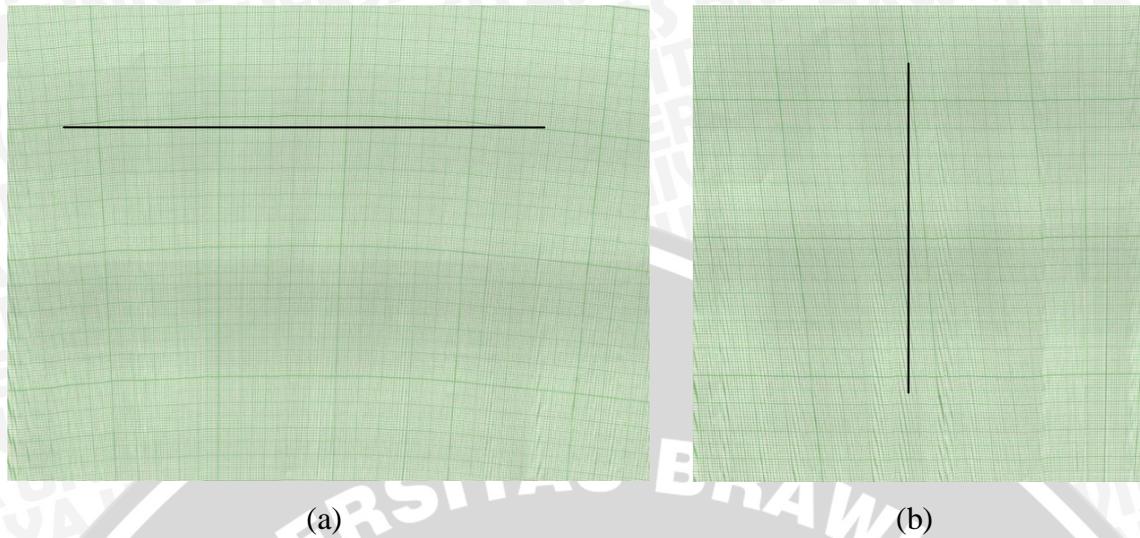
Gambar 4.2 Pengukuran lebar retak

Kemudian saat pengukuran dengan jangka sorong dan *portable scanner* dilakukan pada keseluruhan lebar retak buatan permukaan beton. Jangka sorong yang digunakan dalam penelitian ini adalah jangka sorong tipe M *digital*. Digunakan rahang dalam untuk pengukuran lebar retak dengan jangka sorong. Hasil pengukuran lebar retak dengan jangka sorong dapat dilihat pada layar alat tersebut. Pengukuran dengan *microcrack detector* dan jangka sorong dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.

Namun untuk pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner*, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang tepat. Terdapat beberapa langkah dalam pengukuran dengan menggunakan alat ini.

Langkah awal, yaitu menentukan besar resolusi yang akan digunakan dalam melakukan pemindaian di lapangan. Karena besar resolusi pemindaian tersebut akan mempengaruhi gambar hasil pemindaian dan akan menentukan besar faktor pengali untuk mengkonversikan lebar dalam satuan pixel menjadi satuan milimeter.

Langkah selanjutnya, dilakukan pemindaian terhadap permukaan beton yang terdapat retak dan akan diukur lebarnya. Pada langkah ini, sangat perlu diperhatikan saat proses pemindaian dengan menggunakan *portable scanner*. Saat melakukan pemindaian, posisi pangkal dan ujung alat diharuskan bergerak secara bersamaan dari awal sampai dengan akhir pemindaian untuk mendapatkan gambar hasil pemindaian yang baik dan identik dengan aslinya. Apabila alat tidak bergerak secara bersamaan, maka *portable scanner* akan menghasilkan gambar hasil pemindaian yang tidak baik, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**.



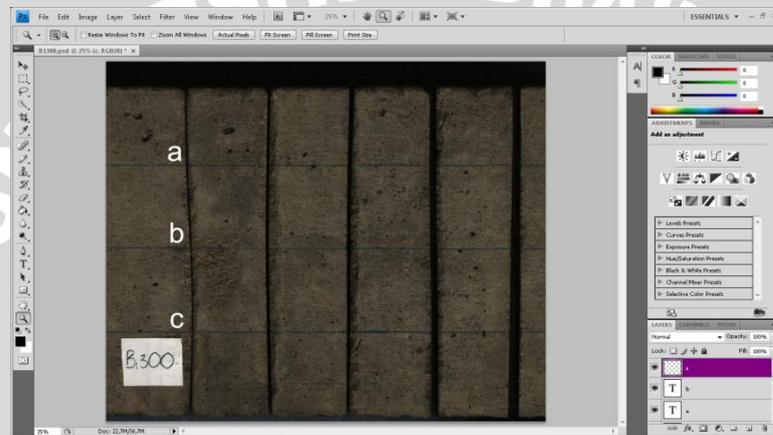
Gambar 4.3 Kegagalan hasil pemindaian

Ditunjukkan pada **Gambar 4.3**, yaitu merupakan contoh kegagalan gambar hasil pemindaian pada kertas milimeter. Dimana diperlihatkan bahwa hasil pemindaian pada **Gambar 4.3 (a)** yang melengkung dan **Gambar 4.3 (b)** yang miring, tidak seperti seharusnya. Dan untuk menghindari hal seperti itu, maka orang yang melakukan pemindaian juga perlu latihan agar bisa menyetabilkan pergerakan *portable scanner* pada saat pemindaian. Selain itu, sebaiknya dilakukan beberapa kali pemindaian agar jika gambar hasil pemindaian tidak bagus, masih terdapat alternatif gambar lain yang dapat digunakan.



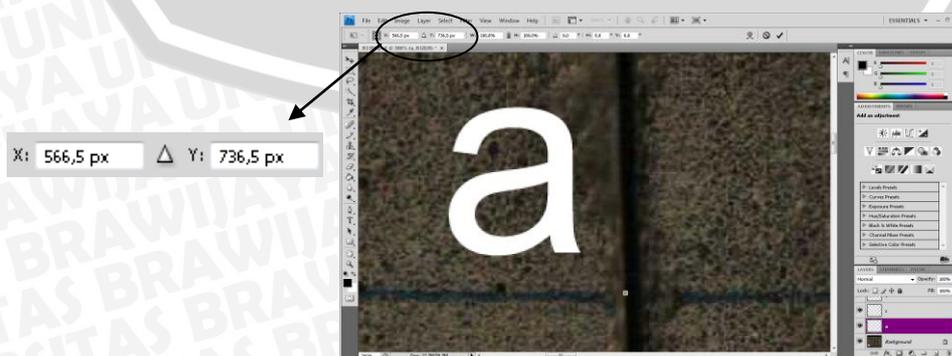
Gambar 4.4 Pemindaian pada permukaan beton

Pada penelitian ini, pemindaian dilakukan dengan retak buatan berada di permukaan bawah beton seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.4** dan tiap benda uji dilakukan pemindaian sebanyak tiga kali atau bisa lebih banyak apabila belum mendapatkan hasil pemindaian yang baik dan jelas. Dari seluruh gambar hasil pemindaian tersebut dipilih yang terbaik kemudian dibuka pada *software* pengolah gambar untuk di baca lebar retaknya. Sisi kiri benda uji dituliskan huruf a, b dan c pada garis bantu seperti pada **Gambar 4.5** untuk menentukan lokasi titik mana yang akan diukur lebarnya.



Gambar 4.5 Tampilan benda uji dengan garis a, b dan c

Dua titik sebesar 1 pixel diletakan di tepi kiri dan kanan daerah lebar retak buatan dalam koordinat Y yang sama. Untuk memudahkan dalam meletakkan kedua titik tersebut dapat dilakukan dengan cara perbesaran gambar sampai ukuran yang diperlukan seperti pada **Gambar 4.6**. Jika kedua titik sudah berada pada posisi yang tepat, digunakan Ctrl+T untuk mengetahui koordinat titik tersebut.

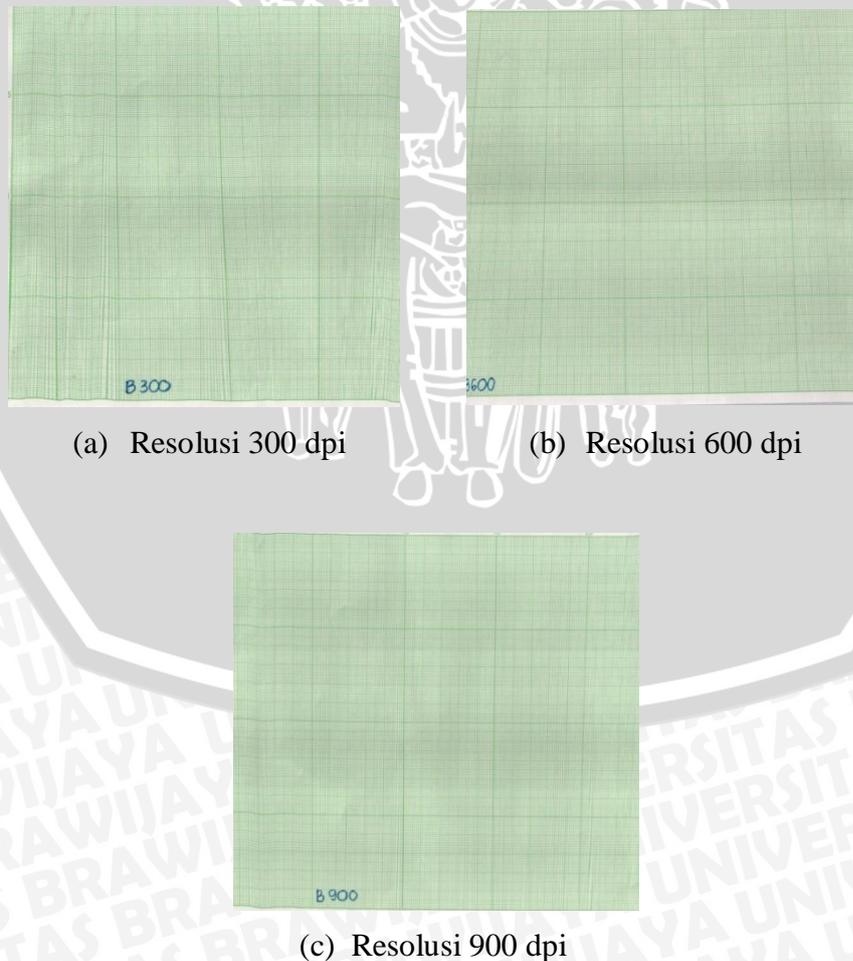


Gambar 4.6 Koordinat lebar retak

Hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* akan didapat dari pembacaan dengan *software* pengolah gambar tersebut, berupa selisih koordinat kedua titik dalam satuan pixel. Dan langkah terakhir adalah mengkonversi lebar retak menjadi satuan milimeter. Lebar retak dalam satuan pixel dikalikan dengan faktor pengalinya, dimana faktor pengali ini tergantung dari besar resolusi pemindaian yang diatur pada *portable scanner* saat pemindaian dilakukan. Pada penelitian ini, faktor pengali didapat dengan melakukan kalibrasi alat terlebih dahulu pada tiap resolusi pemindaian.

4.2 Kalibrasi Pengukuran

Langkah awal penelitian sebelum pengambilan data yaitu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu pada *portable scanner*. Kalibrasi dilakukan dengan melakukan pemindaian pada kertas milimeter yang menghadap ke arah bawah sebanyak tiga kali dengan resolusi pemindaian 300 dpi, 600 dpi dan 900 dpi.



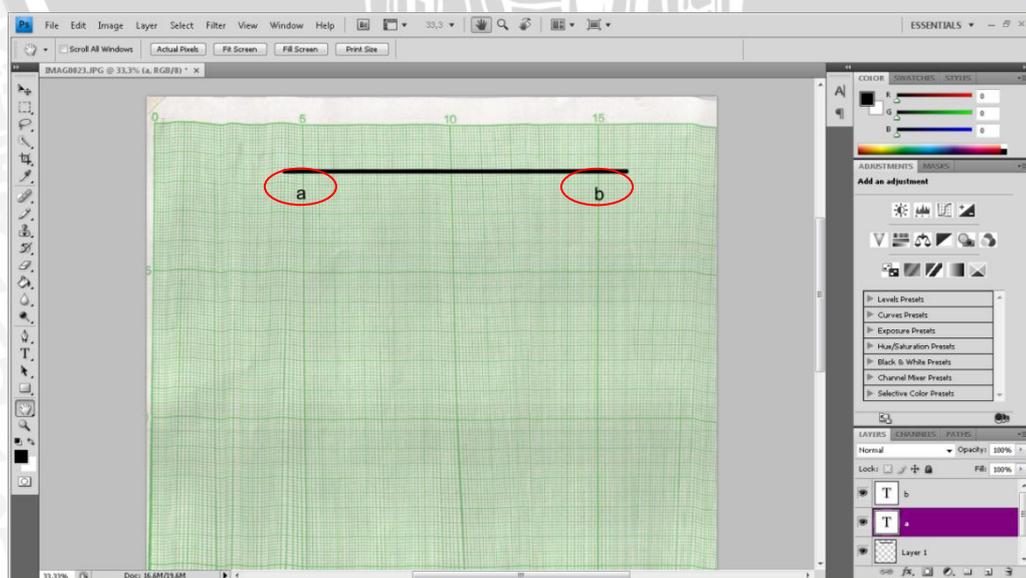
Gambar 4.7 Hasil pemindaian untuk kalibrasi

Hasil pemindaian kalibrasi dapat dilihat di **Gambar 4.7**. **Gambar 4.7 (a)** adalah gambar **B300** yang menunjukkan gambar hasil pemindaian kalibrasi dengan resolusi pemindaian 300 dpi. Sedangkan **Gambar 4.7 (b)** adalah gambar **B600** menunjukkan gambar hasil pemindaian kalibrasi dengan resolusi pemindaian 600 dpi dan gambar **B900** dengan resolusi pemindaian 900 dpi ditunjukkan pada **Gambar 4.7 (c)**.

Ketiga gambar tersebut dibuka dengan *software* pengolah gambar dan akan diberi gambar titik a dan titik b yang berjarak 10 cm pada kertas milimeter. Masing-masing titik akan memiliki koordinat X dan Y. Pada kedua titik, koordinat X akan menunjukkan nilai yang berbeda, namun akan menunjukkan nilai yang sama pada koordinat Y. Kemudian dari nilai koordinat X tersebut nilai 1 pixel akan dapat dikonversikan dalam satuan milimeter.

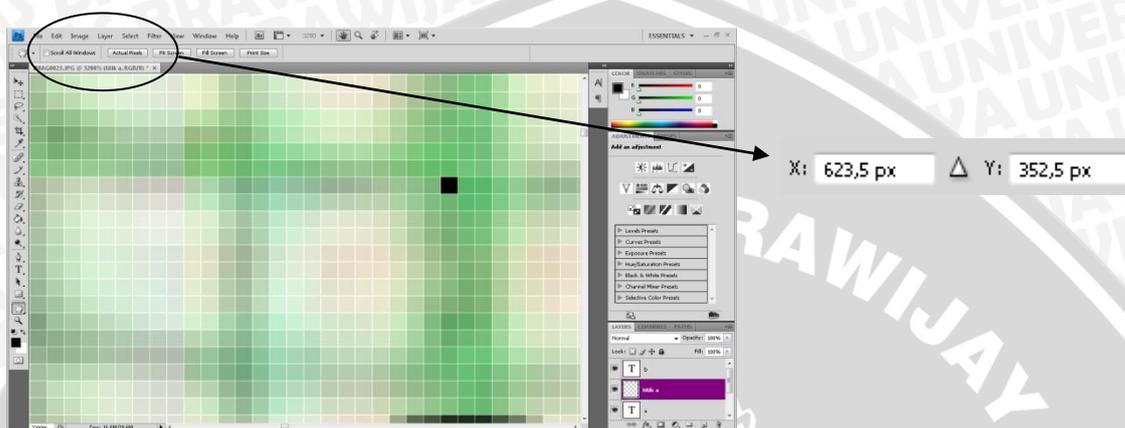
a. Kalibrasi Pengukuran dengan Resolusi Pemindaian 300 dpi

Kalibrasi pertama dilakukan dengan resolusi pemindaian sebesar 300 dpi. Pemindaian dengan resolusi 300 dpi dilakukan satu kali kemudian gambar hasil dari pemindaian tersebut dibuka dengan *software* pengolah gambar. Tampilan gambar B300 pada *software* pengolah gambar ditunjukkan pada **Gambar 4.8**. Garis bantu dengan tebal 17 pixel digambarkan terlebih dahulu untuk menandai pangkal hingga ujung jarak 10 cm untuk kalibrasi. Garis ini akan membantu saat menggambarkan titik sebesar 1 pixel di a dan b.

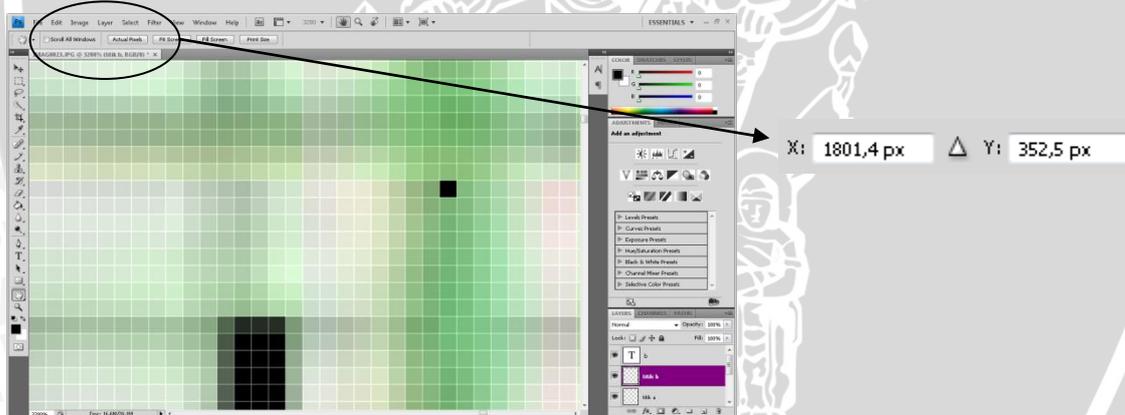


Gambar 4.8 Tampilan *image* B300 pada *software* pengolah gambar

Titik sebesar 1 pixel diletakkan pada titik a dan b. Meletakkan titik 1 pixel dilakukan dengan memperbesar terlebih dahulu sampai gambar terkotak-kotak dalam pixel seperti pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**. Kedua titik tersebut berada dalam posisi X yang berbeda dan Y sama yaitu 352,5 px.



Gambar 4.9 Titik a dilihat pada perbesaran *image* B300



Gambar 4.10 Titik b dilihat pada perbesaran *image* B300

Titik a menunjukkan koordinat (623,5 px; 352,5 px). Titik b menunjukkan koordinat (1801,4 px; 352,5 px). Konversi 1 pixel dalam satuan millimeter dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_a = 623,5 \text{ px}$$

$$X_b = 1801,4 \text{ px}$$

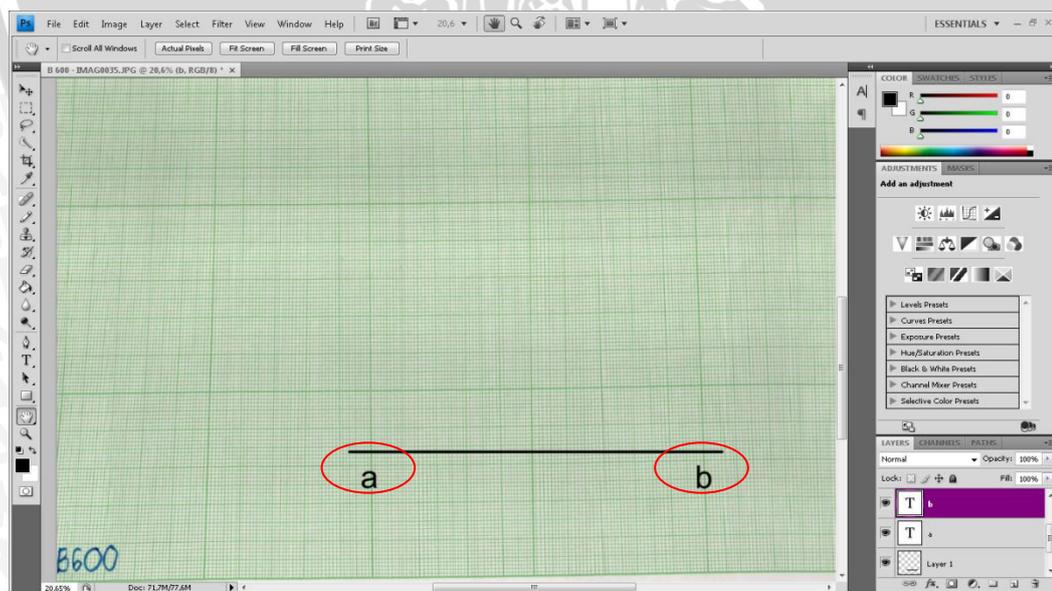
$$Y = 352,5 \text{ px}$$

$$\begin{aligned} X &= X_b - X_a \\ &= 1801,4 - 623,5 \\ &= 1177,9 \text{ px} \\ 10 \text{ cm} &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1177,9 \text{ pixel} &= 100 \text{ mm} \\ 1 \text{ pixel} &= \frac{100 \text{ mm}}{1177,9} \\ &= 0,0849 \text{ mm} \end{aligned}$$

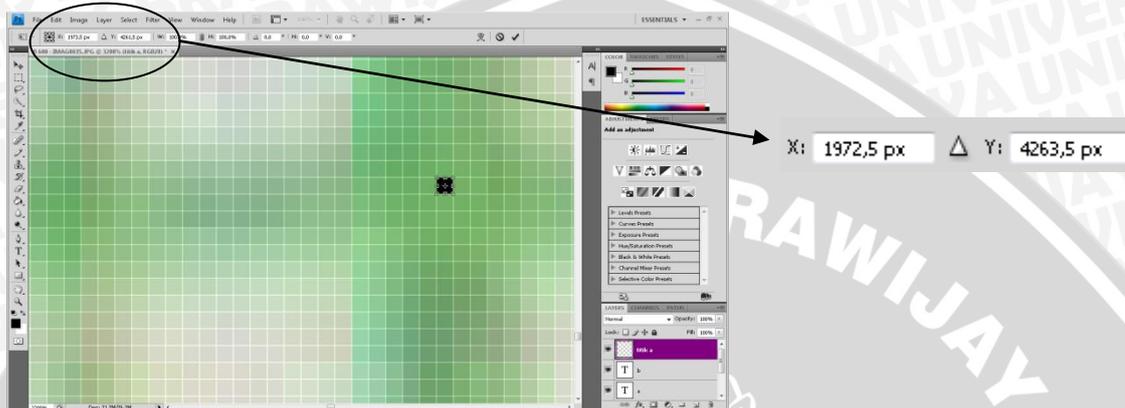
b. Kalibrasi Pengukuran dengan Resolusi Pemindaian 600 dpi

Kalibrasi kedua dilakukan dengan resolusi pemindaian sebesar 600 dpi. Pemindaian dengan resolusi 600 dpi dilakukan satu kali kemudian gambar hasil dari pemindaian tersebut dibuka dengan *software* pengolah gambar. Tampilan gambar B600 pada *software* pengolah gambar ditunjukkan pada **Gambar 4.11**. Garis bantu dengan tebal 17 pixel digambarkan terlebih dahulu untuk menandai pangkal hingga ujung jarak 10 cm untuk kalibrasi. Garis ini akan membantu saat menggambarkan titik sebesar 1 pixel di a dan b.

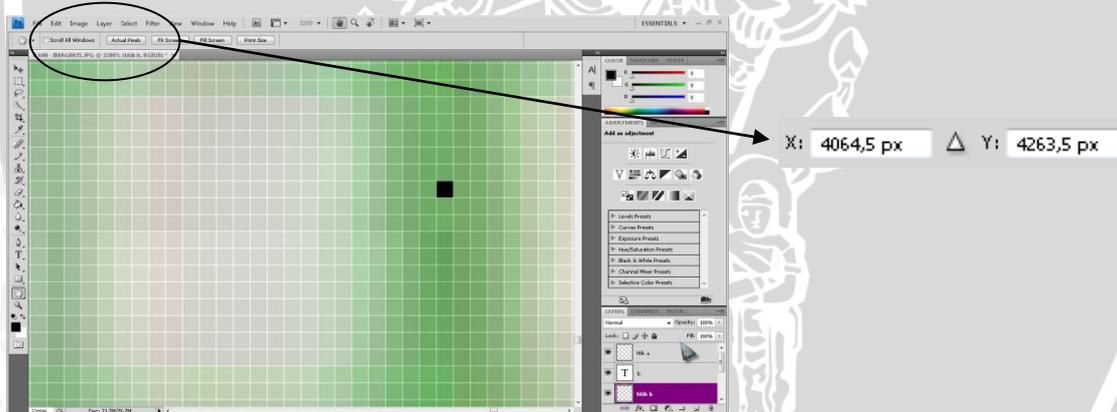


Gambar 4.11 Tampilan *image* B600 pada *software* pengolah gambar

Titik sebesar 1 pixel diletakkan pada titik a dan b. Meletakkan titik 1 pixel dilakukan dengan memperbesar terlebih dahulu sampai gambar terkotak-kotak dalam pixel seperti pada **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13**. Kedua titik tersebut berada dalam posisi X yang berbeda dan Y sama yaitu 4263,5 px.



Gambar 4.12 Titik a dilihat pada perbesaran *image* B600



Gambar 4.13 Titik b dilihat pada perbesaran *image* B600

Titik a menunjukkan koordinat (1972,5 px; 4263,5 px). Titik b menunjukkan koordinat (4064,5 px; 4263,5 px). Konversi 1 pixel dalam satuan millimeter dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_a = 1972,5 \text{ px}$$

$$X_b = 4064,5 \text{ px}$$

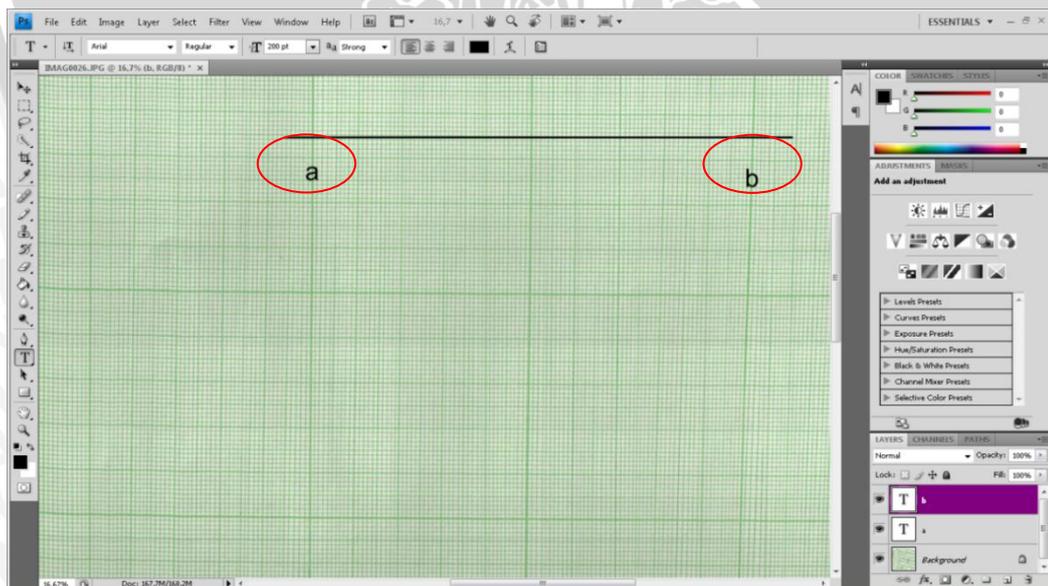
$$Y = 4263,5 \text{ px}$$

$$\begin{aligned} X &= X_b - X_a \\ &= 4064,5 - 1972,5 \\ &= 2092 \text{ px} \\ 10 \text{ cm} &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2092 \text{ pixel} &= 100 \text{ mm} \\ 1 \text{ pixel} &= \frac{100 \text{ mm}}{2092} \\ &= 0,0478 \text{ mm} \end{aligned}$$

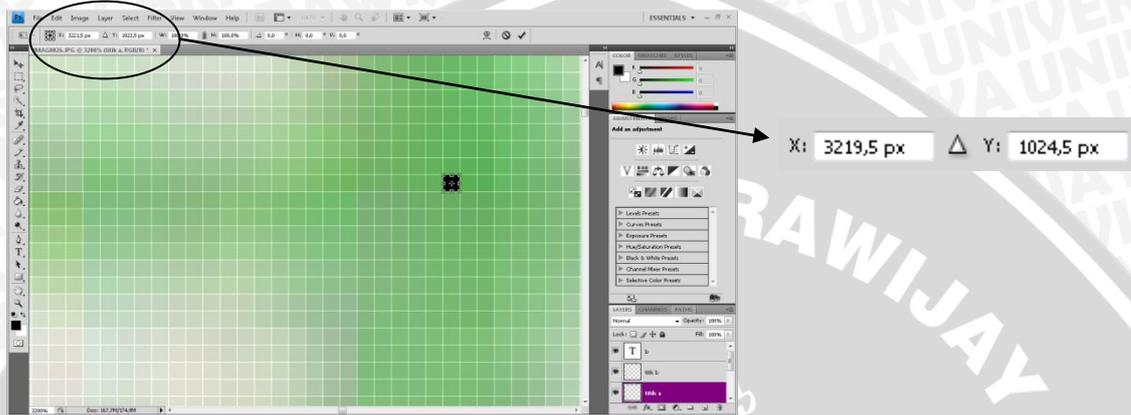
c. Kalibrasi Pengukuran dengan Resolusi Pemindaian 900 dpi

Kalibrasi ketiga dilakukan dengan resolusi pemindaian sebesar 900 dpi. Pemindaian dengan resolusi 900 dpi dilakukan satu kali kemudian gambar hasil dari pemindaian tersebut dibuka dengan *software* pengolah gambar. Tampilan gambar B900 pada *software* pengolah gambar ditunjukkan pada **Gambar 4.14**. Garis bantu dengan tebal 17 pixel digambarkan terlebih dahulu untuk menandai pangkal hingga ujung jarak 10 cm untuk kalibrasi. Garis ini akan membantu saat menggambarkan titik sebesar 1 pixel di a dan b.

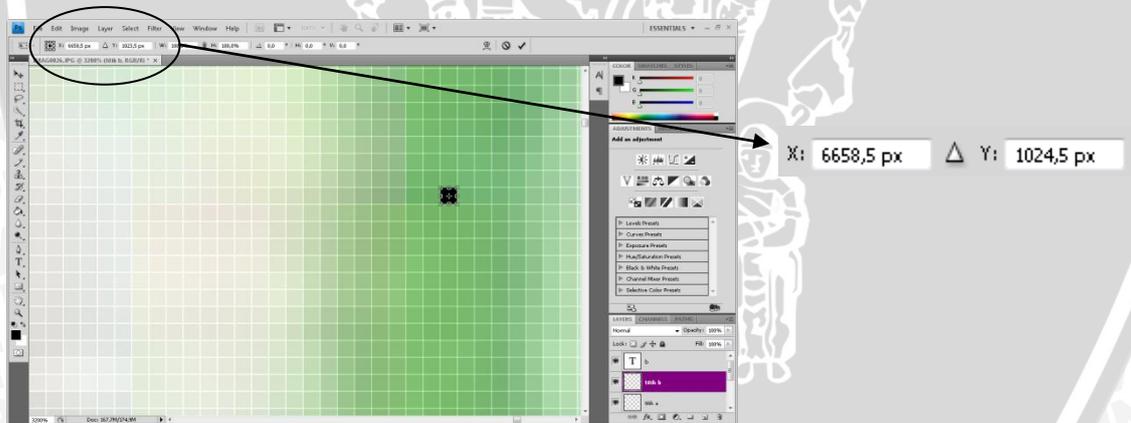


Gambar 4.14 Tampilan *image* B900 pada *software* pengolah gambar

Titik sebesar 1 pixel diletakkan pada titik a dan b. Meletakkan titik 1 pixel dilakukan dengan memperbesar terlebih dahulu sampai gambar terkotak-kotak dalam pixel seperti pada **Gambar 4.15** dan **Gambar 4.16**. Kedua titik tersebut berada dalam posisi X yang berbeda dan Y sama yaitu 1024,5 px.



Gambar 4.15 Titik a dilihat pada perbesaran *image* B900



Gambar 4.16 Titik b dilihat pada perbesaran *image* B900

Titik a menunjukkan koordinat (3219,5 px; 1024,5 px). Titik b menunjukkan koordinat (6658,5 px; 1024,5 px). Konversi 1 pixel dalam satuan millimeter dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_a = 3219,5 \text{ px}$$

$$X_b = 6658,5 \text{ px}$$

$$Y = 1024,5 \text{ px}$$

$$\begin{aligned}
 X &= X_b - X_a \\
 &= 6658,5 - 3219,5 \\
 &= 3439 \text{ px} \\
 10 \text{ cm} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$3219 \text{ pixel} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ pixel} &= \frac{100 \text{ mm}}{3219} \\
 &= 0,0290 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3 Hasil Pengujian

Setelah semua pengukuran dilakukan, hasil pengukuran lebar retak menggunakan ketiga alat ditampilkan pada **Tabel 4.1**.

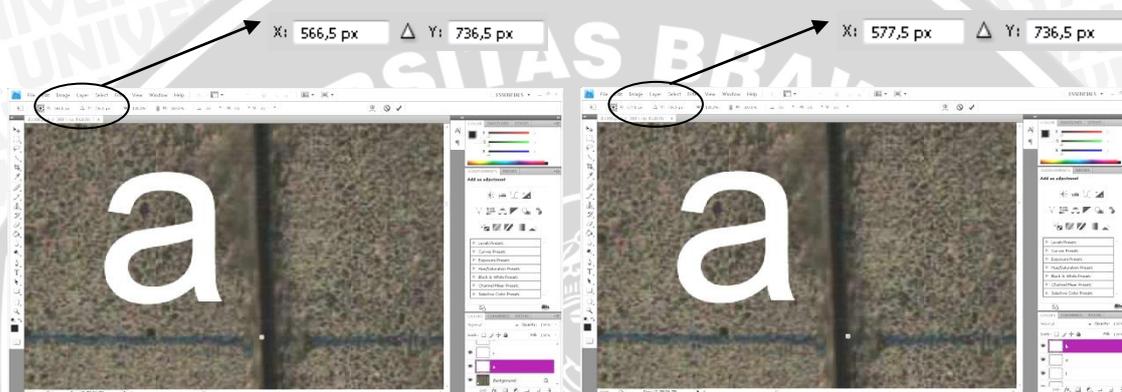
Tabel 4.1 Hasil pengukuran lebar retak dengan *portable scanner*

Lebar Retak Buatan (mm)	Pengukuran Lebar Retak Permukaan Beton (mm)															
	Microcrack detector			Jangka Sorong			Portable Scanner									
	a	b	c	a	b	c	300 dpi			600 dpi			900 dpi			
							a	b	c	a	b	c	a	b	c	
Benda Uji 1	1	0,90	1,00	0,96	1,01	0,96	0,98	0,93	1,10	0,76	0,96	1,05	0,81	0,99	0,99	0,93
	2	2,08	2,10	2,04	2,08	2,10	2,09	1,87	1,95	1,95	2,06	2,06	2,06	2,06	2,03	2,00
	3	2,86	2,96	2,92	2,94	2,99	2,93	2,72	2,89	2,72	2,96	2,96	3,01	2,90	3,05	2,84
	4				3,98	4,00	4,06	3,99	3,99	3,91	3,92	3,92	3,92	4,03	3,83	3,80
	5				5,07	5,04	5,09	5,09	5,18	5,26	5,21	5,11	5,07	5,02	5,10	5,05
Benda Uji 2	1	1,00	1,00	0,96	1,02	0,95	0,97	1,02	0,85	1,02	0,91	0,96	1,10	0,96	1,02	0,96
	2	1,92	1,94	1,90	2,01	1,96	1,92	1,95	1,95	1,95	2,10	1,91	1,96	1,97	2,00	1,94
	3	2,90	2,94	2,96	2,95	2,98	3,00	2,97	2,89	2,89	3,01	3,20	3,11	3,19	3,10	2,96
	4				3,91	4,05	3,82	4,08	3,91	3,74	3,87	4,06	4,49	3,97	4,09	3,92
	5				5,06	5,05	4,94	5,09	5,18	5,09	5,16	5,16	5,31	5,16	5,22	5,13
Benda Uji 3	1	0,90	0,86	0,92	0,94	0,89	0,92	0,93	0,85	0,93	1,00	0,86	0,91	0,99	0,87	0,90
	2	2,00	1,94	2,00	2,02	1,98	2,01	2,04	1,87	1,78	2,06	2,01	1,96	2,09	1,91	1,89
	3	2,92	2,88	2,86	2,95	2,94	2,92	2,80	3,06	3,14	2,92	2,82	2,82	2,87	2,81	2,78
	4				4,09	4,04	4,03	3,99	3,99	3,74	4,16	4,11	4,02	4,06	4,15	4,18
	5				5,04	5,03	4,99	5,35	5,09	4,92	5,07	5,11	5,02	4,93	4,90	5,10

Data yang ditampilkan pada **Tabel 4.1** menunjukkan hasil pengukuran lebar retak yang berbeda-beda untuk lokasi yang sama dengan penggunaan resolusi pemindaian yang berbeda. Hasil pengukuran dengan ketiga alat tersebut pada titik a, b

dan c di setiap retak dari ketiga benda uji, dihitung rata-ratanya menjadi satu data. Kemudian nilai yang didapat dari pengukuran menggunakan *portable scanner* dihitung kesalahan relatifnya dengan nilai yang didapat dari pengukuran menggunakan *microcrack detector* untuk lebar retak buatan sebesar 1 mm, 2 mm dan 3 mm serta jangka sorong untuk keseluruhan lebar retak buatan permukaan beton.

a. Pengukuran Lebar Retak dengan Resolusi Pemindaian 300 dpi



Gambar 4.17 Retak 1mm dengan resolusi pemindaian 300 dpi

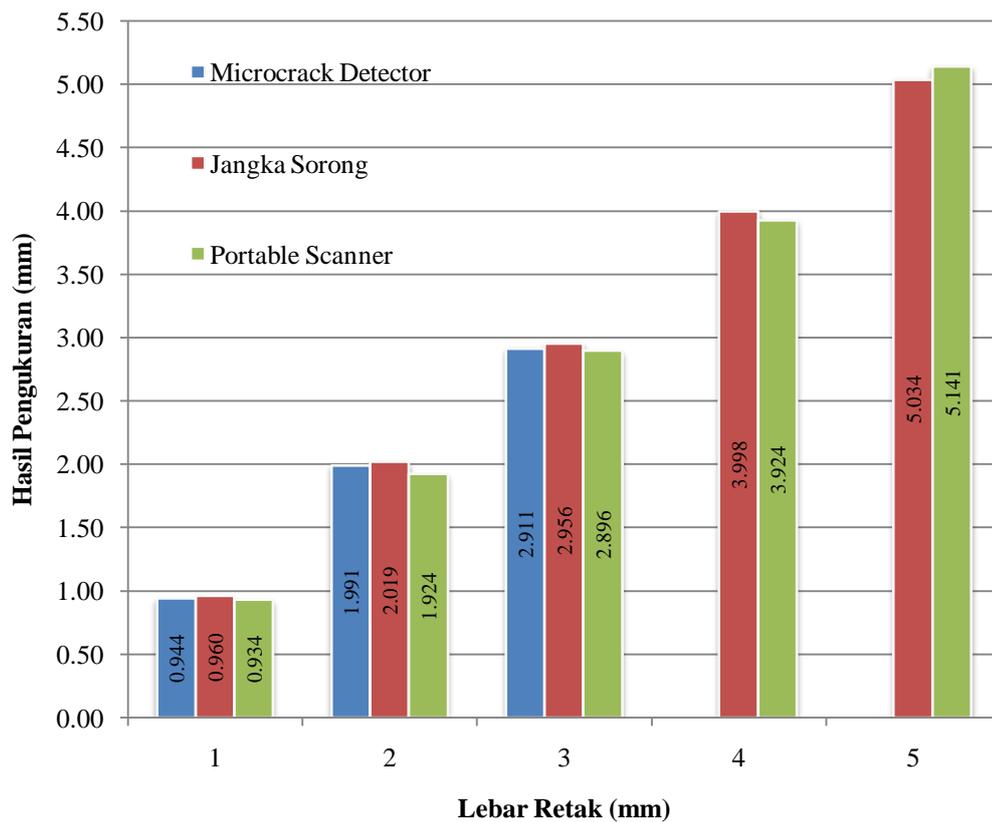
Contoh perhitungan lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 300 dpi terhadap retak 1 mm titik a pada benda uji 1 terukur selebar 11 pixel atau 0,93 mm. Koordinat kedua titik ditunjukkan pada **Gambar 4.17**. Untuk titik sebelah kiri retak terletak pada koordinat (566,50 px; 736,50 px) dan titik sebelah kanan retak terletak pada koordinat (577,50 px; 736,50 px). Kalibrasi alat dengan resolusi pemindaian 300 dpi pada awal penelitian menunjukkan bahwa 1 pixel = 0,0849 mm. Sehingga dengan *portable scanner* lebar retak buatan terukur $11 \times 0,0849 = 0,93$ mm. Ditampilkan di **Tabel 4.1**, pada benda uji 1 titik a, lebar retak buatan 1mm didapatkan hasil pengukuran dengan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 300 dpi berturut-turut adalah 0,90 mm, 1,01 mm dan 0,93 mm.

Lebar retak rata-rata hasil pengukuran di titik a, b, c menggunakan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 300 dpi dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Rata-rata yang ditampilkan berdasarkan lebar retak dan alat pengukur.

Tabel 4.2 Lebar retak rata-rata dengan resolusi pemindaian 300 dpi

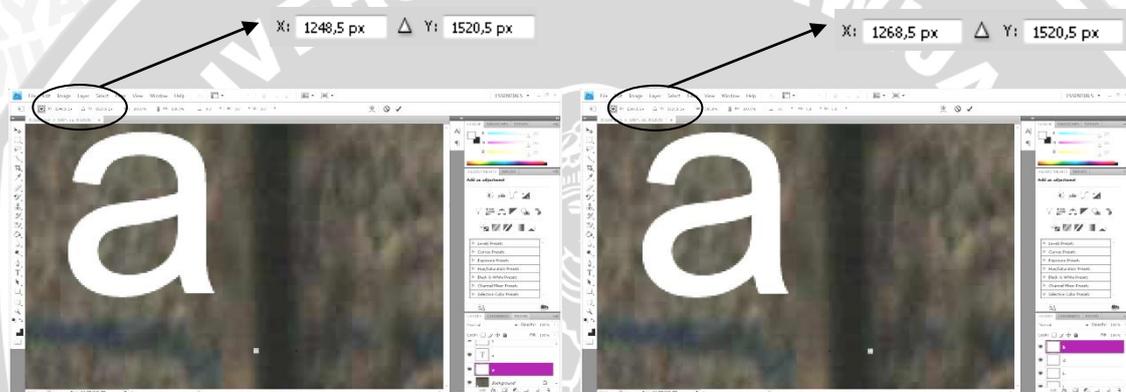
Lebar Retak (mm)	Lebar Retak Rata-Rata (mm)		
	<i>Microcrack Detector</i>	Jangka Sorong	<i>Portable Scanner</i>
			300 dpi
1	0,944	0,960	0,934
2	1,991	2,019	1,924
3	2,911	2,956	2,896
4	/ / / / /	3,998	3,924
5	/ / / / /	5,034	5,141

Perbandingan hasil rata-rata pengukuran lebar retak permukaan beton dengan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* 300 dpi dapat dilihat pada **Gambar 4.18**.

**Gambar 4.18** Perbandingan lebar retak dengan resolusi pemindaian 300 dpi

Berdasarkan **Gambar 4.18**, dapat dilihat bahwa dari semua pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 300 menunjukkan hasil pengukuran yang paling kecil dibandingkan dengan yang lain. Dan pengukuran lebar retak dengan jangka sorong menunjukkan hasil yang paling besar. Sedangkan pada pengukuran lebar retak 1 mm, 2 mm dan 3 mm dengan *microcrack detector* menunjukkan hasil pengukuran yang berada di antara jangka sorong dan *portable scanner*.

b. Pengukuran Lebar Retak dengan Resolusi Pemindaian 600 dpi



Gambar 4.19 Retak 1 mm dengan resolusi pemindaian 600 dpi

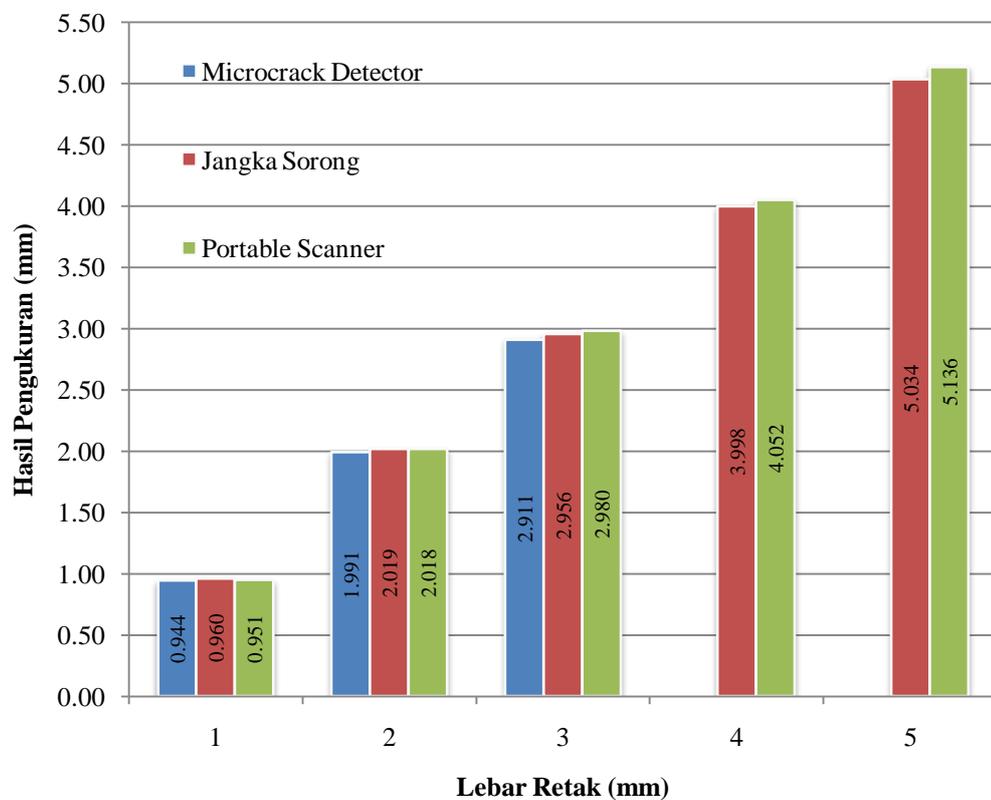
Contoh perhitungan lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 600 dpi terhadap retak 1 mm titik a pada benda uji 1 terukur selebar 20 pixel atau 0,96 mm. Koordinat kedua titik ditunjukkan pada **Gambar 4.19**. Untuk titik sebelah kiri retak terletak pada koordinat (1248,50 px; 1520,50 px) dan titik sebelah kanan retak terletak pada koordinat (1268,50 px; 1250,50 px). Kalibrasi alat dengan resolusi pemindaian 600 dpi pada awal penelitian menunjukkan bahwa 1 pixel = 0,0478 mm. Sehingga dengan *portable scanner* lebar retak buatan terukur $20 \times 0,0478 = 2,01$ mm. Ditampilkan di **Tabel 4.1**, pada benda uji 1 titik a, lebar retak buatan 1 mm didapatkan hasil pengukuran *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* resolusi pemindaian 600 dpi berturut-turut adalah 0,90 mm, 1,01 mm dan 0,96 mm.

Lebar retak rata-rata hasil pengukuran di titik a, b, c menggunakan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 600 dpi dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Rata-rata yang ditampilkan berdasarkan lebar retak dan alat pengukur.

Tabel 4.3 Lebar retak rata-rata dengan resolusi pemindaian 600 dpi

Lebar Retak (mm)	Lebar Retak Rata-Rata (mm)		
	<i>Microcrack Detector</i>	Jangka Sorong	<i>Portable Scanner</i> 600 dpi
1	0,944	0,960	0,951
2	1,991	2,019	2,018
3	2,911	2,956	2,980
4		3,998	4,052
5		5,034	5,136

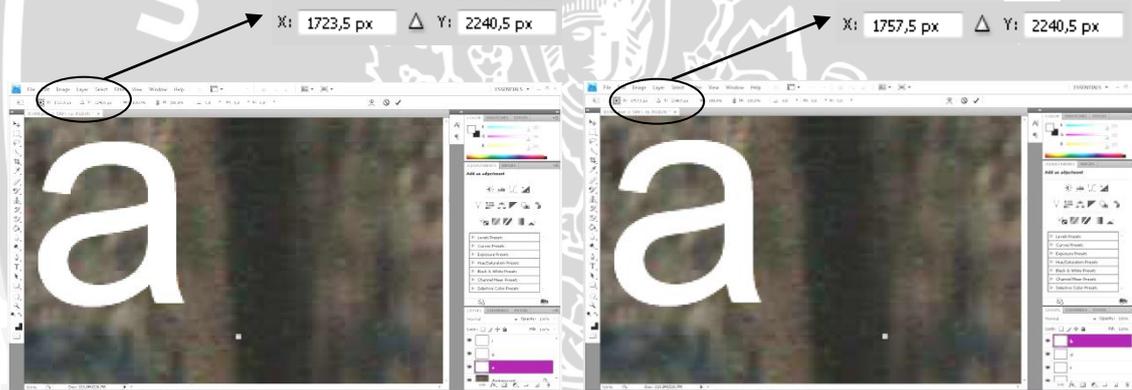
Perbandingan hasil rata-rata pengukuran lebar retak permukaan beton dengan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* 600 dpi dapat dilihat pada **Gambar 4.20**.



Gambar 4.20 Perbandingan Lebar retak dengan resolusi pemindaian 600 dpi

Berdasarkan **Gambar 4.20**, dapat dilihat bahwa pada lebar retak 1 mm pengukuran dengan *microcrack detector* menunjukkan hasil pengukuran yang lebih kecil dibanding yang lain, kemudian diikuti hasil pengukuran dengan *portable scanner* dan yang paling besar ditunjukkan pada hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong. Hal yang sama ditunjukkan pada pengukuran lebar retak 2 mm. Pada lebar retak 3 mm pengukuran dengan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* berturut-turut menunjukkan hasil pengukuran dari kecil ke besar. Pada pengukuran lebar retak 4 mm dan 5 mm yang diukur dengan jangka sorong dan *portable scanner* saja, menunjukkan perbedaan hasil pengukuran tidak terlalu jauh. Dan pengukuran dengan *portable scanner* menunjukkan hasil pengukuran yang terbesar.

c. Pengukuran Lebar Retak dengan Resolusi Pemindaian 900 dpi



Gambar 4.21 Retak 1 mm dengan resolusi pemindaian 900 dpi

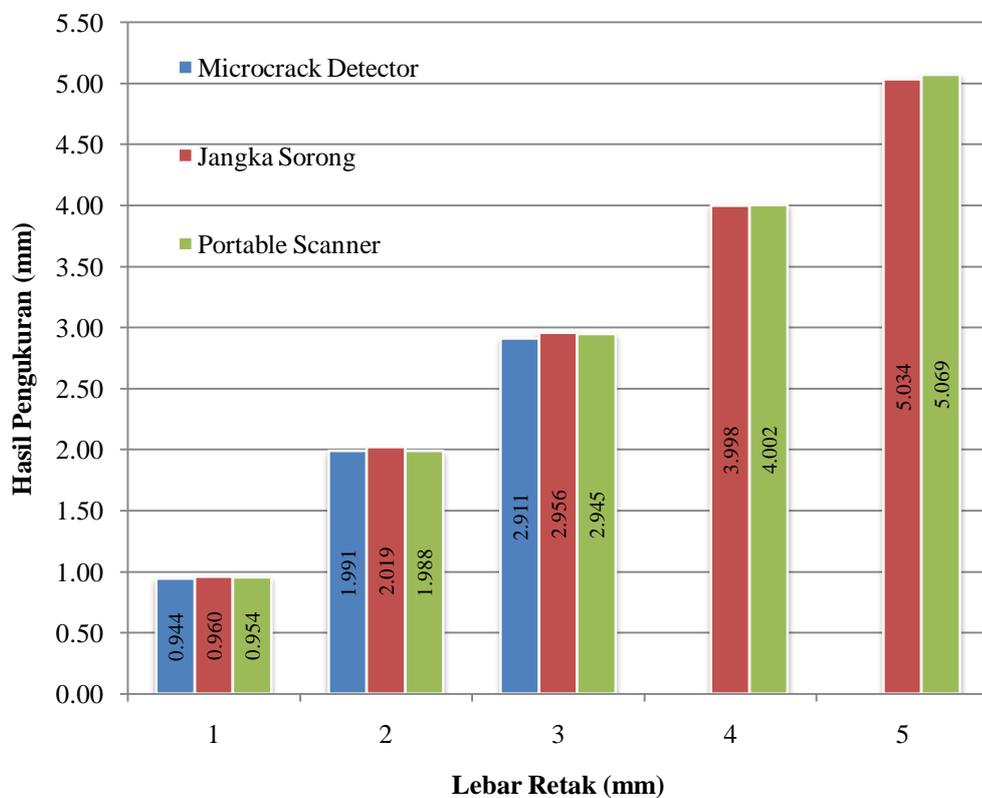
Contoh perhitungan lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 900 dpi terhadap retak 1 mm titik a pada benda uji 1 terukur selebar 34 pixel atau 0,99mm. Koordinat kedua titik ditunjukkan pada **Gambar 4.21**. Untuk titik sebelah kiri retak terletak pada koordinat (1723,50 px; 2240,50 px) dan titik sebelah kanan retak terletak pada koordinat (1757,50 px; 2240,50 px). Kalibrasi alat dengan resolusi pemindaian 900 dpi pada awal penelitian menunjukkan bahwa 1 pixel = 0,0290 mm. Sehingga dengan *portable scanner* lebar retak buatan terukur $34 \times 0,0290 = 0,99$ mm. Ditampilkan di **Tabel 4.1**, pada benda uji 1 titik a, lebar retak buatan 1mm didapatkan hasil pengukuran *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* resolusi pemindaian 900 dpi berturut-turut adalah 0,90 mm, 1,01 mm dan 0,99 mm.

Lebar retak rata-rata hasil pengukuran di titik a, b, c menggunakan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 900 dpi dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Rata-rata yang ditampilkan berdasarkan lebar retak dan alat pemindai.

Tabel 4.4 Lebar retak rata-rata dengan resolusi pemindaian 900 dpi

Lebar Retak (mm)	Lebar Retak Rata-Rata (mm)		
	<i>Microcrack Detector</i>	Jangka Sorong	<i>Portable Scanner</i> 900 dpi
1	0,944	0,960	0,954
2	1,991	2,019	1,988
3	2,911	2,956	2,945
4		3,998	4,002
5		5,034	5,069

Perbandingan hasil rata-rata pengukuran lebar retak permukaan beton dengan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* 900 dpi dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.



Gambar 4.22 perbandingan lebar retak resolusi pemindaian 900 dpi

Berdasarkan **Gambar 4.22**, dapat dilihat bahwa seperti halnya kedua resolusi pemindaian sebelumnya pengukuran pada satu lokasi tidak ada yang terukur sama. Pada lebar retak 1 mm pengukuran dengan *microcrack detector* menunjukkan hasil pengukuran yang lebih kecil dibanding yang lain, kemudian diikuti hasil pengukuran dengan *portable scanner* dan paling besar ditunjukkan pada hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong. Hal yang sama ditunjukkan pada pengukuran lebar retak 3 mm. Pada lebar retak 2 mm pengukuran dengan *portable scanner* menunjukkan hasil pengukuran yang lebih kecil dibanding yang lain dan yang paling besar ditunjukkan pada hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong. Pada pengukuran lebar retak 4 mm dan 5 mm yang diukur dengan jangka sorong dan *portable scanner* saja, menunjukkan perbedaan hasil pengukuran tidak terlalu jauh. Perbedaan hasil pengukuran menunjukkan terdapat perbedaan tingkat akurasi pengukuran menggunakan *portable scanner* dengan variasi resolusi pemindaian. Untuk mengetahui apakah perbedaan itu berarti atau tidak, maka data hasil pengukuran perlu diuji terlebih dahulu.

4.4 Pembahasan

a. Kesalahan Relatif

Perbedaan hasil pengukuran menggunakan *portable scanner* ditunjukkan dengan adanya kesalahan relatif pada tiap lebar retak permukaan beton. Kesalahan relatif didapat dari perbandingan hasil pengukuran lebar retak dengan *microcrack detector* dan jangka sorong terhadap kesalahan absolut hasil pengukuran. Kesalahan absolut adalah nilai absolut dari selisih nilai yang sebenarnya dan nilai pendekatan. Hasil pengukuran pada titik a, b dan c di setiap retak buatan dari ketiga benda uji, dihitung rata-ratanya menjadi satu data seperti yang sudah ditampilkan pada **Tabel 4.2**, **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4**. Dan dari rata-rata tersebut kemudian dapat dihitung kesalahan relatif hasil pengukuran *portable scanner* pada masing-masing variasi resolusi pemindaian. Prosentase KR dihitung menggunakan persamaan (3-1), (3-2) dan (3-3).

Perhitungan kesalahan relatif antara hasil pengukuran lebar retak menggunakan *microcrack detector* dan *portable scanner* dengan ketiga resolusi pemindaian ditampilkan pada **Tabel 4.5**. Sedangkan perhitungan kesalahan relatif antara hasil pengukuran lebar retak menggunakan jangka sorong dan *portable scanner* dengan ketiga resolusi pemindaian ditampilkan pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.5 Kesalahan relatif *portable scanner* terhadap *microcrack detector*

Lebar retak (mm)	Lebar Retak Rata-Rata (mm)						
	<i>Microcrack Detector</i>	<i>Portable Scanner</i>					
		300 dpi	KR (%)	600 dpi	KR (%)	900 dpi	KR (%)
1	0,944	0,934	1,116	0,951	0,661	0,954	0,988
2	1,991	1,924	3,350	2,018	1,362	1,988	0,151
3	2,911	2,896	0,518	2,980	2,350	2,945	1,168

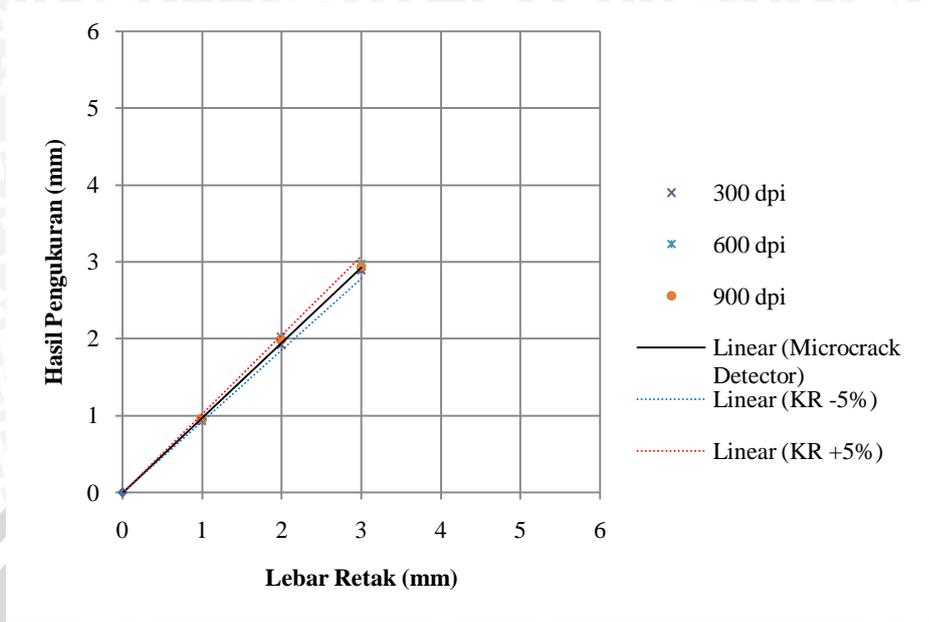
Ditunjukkan pada **Tabel 4.5**, kesalahan relatif tertinggi terhadap *microcrack detector* pada hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan variasi resolusi pemindaian 300 dpi, 600, dpi ,900 dpi berturut-turut adalah 3,350% pada pengukuran retak 2 mm, 2,350 pada pengukuran retak 3 mm dan 1,168% pada pengukuran retak 3 mm.

Tabel 4.6 Kesalahan relatif *portable scanner* terhadap jangka sorong

Lebar retak (mm)	Lebar Retak Rata-Rata (mm)						
	<i>Microcrack Detector</i>	<i>Portable Scanner</i>					
		300 dpi	KR (%)	600 dpi	KR (%)	900 dpi	KR (%)
1	0,960	0,934	2,719	0,951	0,970	0,954	0,648
2	2,019	1,924	4,680	2,018	0,033	1,988	1,524
3	2,956	2,896	2,014	2,980	0,811	2,945	0,353
4	3,998	3,924	1,839	4,052	1,366	4,002	0,106
5	5,034	5,141	2,120	5,136	2,014	5,069	0,678

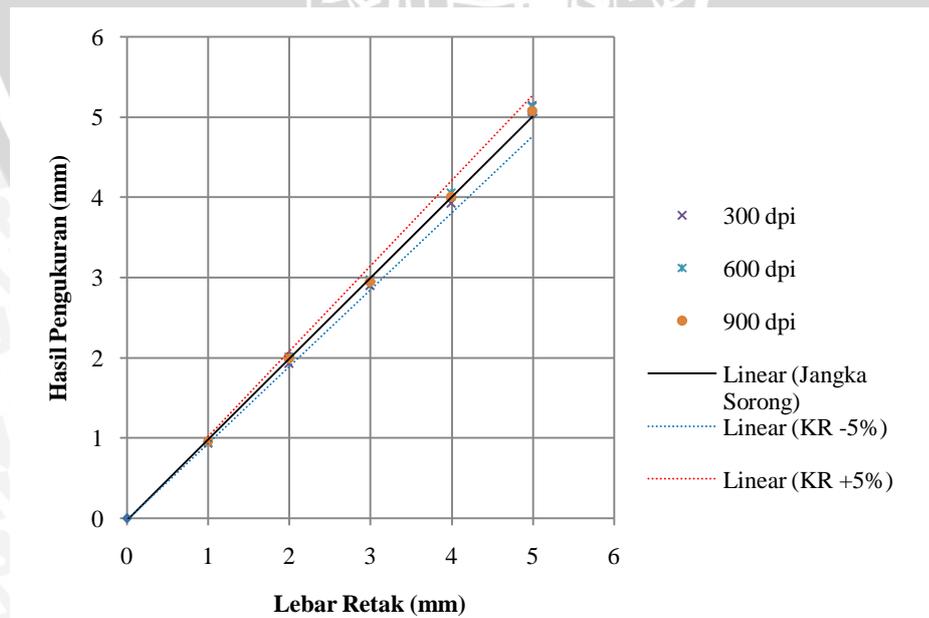
Dan pada **Tabel 4.6**, kesalahan relatif tertinggi terhadap jangka sorong pada hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan variasi resolusi pemindaian 300 dpi, 600, dpi, 900 dpi berturut-turut adalah 4,680% juga pada pengukuran retak 2 mm, 2,014% pada pengukuran retak 5 mm dan 1,524% pada pengukuran retak 2 mm.

Dengan dibandingkan kedua alat tersebut, hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* di setiap resolusinya menunjukkan kesalahan relatif yang tidak terlalu besar. Semua kesalahan relatif pada tiap resolusi pemindaian masih berada di bawah toleransi 5%.



Gambar 4.23 Pengukuran dengan *microcrack detector* dan *portable scanner*

Berdasarkan **Gambar 4.23**, ditunjukkan bahwa seluruh hasil pengukuran *microcrack detector* dan *portable scanner* pada masing-masing resolusi pemindaian terdapat perbedaan. Namun, bila dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan *microcrack detector*, hasil pengukuran menggunakan *portable scanner* masih berada di bawah toleransi atau di bawah 5%.



Gambar 4.24 Pengukuran dengan jangka sorong dan *portable scanner*

Berdasarkan **Gambar 4.24**, ditunjukkan bahwa seluruh hasil pengukuran jangka sorong dan *portable scanner* pada masing-masing resolusi pemindaian juga terdapat perbedaan. Namun, bila dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan jangka sorong, hasil pengukuran menggunakan *portable scanner* masih berada di bawah toleransi atau di bawah 5%. Hal ini bisa saja dipengaruhi karena kurang tepatnya saat melakukan pemindaian terhadap benda uji, selain itu bisa juga dikarenakan kesalahan saat melakukan pembacaan lebar retak melalui *software* pengolah gambar.

b. Uji Hipotesis

Pengolahan data yang dipakai untuk uji hipotesis adalah analisa data secara statistik. Data yang diperoleh dari penelitian adalah hasil pengukuran lebar retak buatan dengan *portable scanner* serta hasil pengukuran lebar retak buatan dengan *microcrack detector* dan jangka sorong sebagai kontrol.

Pengujian hipotesis dilakukan dengan uji F satu arah. Pengujian hipotesis bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil pengukuran lebar retak buatan menggunakan *microcrack detector*, jangka sorong dan *portable scanner* dengan variasi resolusi pemindaian.

Pengujian varian satu arah dianalisa dengan membandingkan F_{hitung} dan F_{tabel} . Apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak, dan sebaliknya jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima. F_{tabel} didapatkan dari tabel F sesuai dengan nilai α dan derajat kebebasan. Nilai α yang digunakan pada pengolahan data penelitian ini adalah 0,05. F_{hitung} diperoleh dari persamaan (3-9), (3-10) dan (3-11).

Pada penelitian ini, uji hipotesis ditinjau hanya pada satu pengukuran lebar retak, yaitu pada retak 1 mm saja dan dilakukan sebanyak empat kali. Hipotesis diuji dengan membandingkan hasil pengukuran *microcrack detector*, jangka sorong terhadap hasil pengukuran *portable scanner* pada variasi resolusi pemindaian antara lain 300 dpi, 600 dpi, 900 dpi dan yang terakhir yaitu pengaruh resolusi pemindaian *portable scanner* terhadap hasil pengukuran lebar retak.

a. Resolusi pemindaian 300 dpi

Tabel 4.7 Analisis varian satu arah resolusi pemindaian 300 dpi

Sumber Varian (SV)	JK	db	KR	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar (A)	0,003	2	0,002	0,3064	3,4
Dalam (D)	0,122	24	0,005	-	-
Total (T)	0,125	26	-	-	-

Berdasarkan **Tabel 4.7**, didapatkan nilai $F_{hitung} = 0,3064$, sedangkan $F_{tabel} = 3,4$. Dengan begitu $F_{hitung} < F_{tabel}$ atau H_0 diterima artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 300 dpi bila dibandingkan dengan *microcrack detector* dan jangka sorong.

b. Resolusi pemindaian 600 dpi

Tabel 4.8 Analisis varian satu arah resolusi pemindaian 600 dpi

Sumber Varian (SV)	JK	db	KR	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar (A)	0,0011	2	0,0006	0,1310	3,4
Dalam (D)	0,1010	24	0,0042	-	-
Total (T)	0,1021	26	-	-	-

Berdasarkan **Tabel 4.8**, didapatkan nilai $F_{hitung} = 0,1310$, sedangkan $F_{tabel} = 3,4$. Dengan begitu $F_{hitung} < F_{tabel}$ atau H_0 diterima artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 600 dpi bila dibandingkan dengan *microcrack detector* dan jangka sorong.

c. Resolusi emindaian 900 dpi

Tabel 4.9 Analisis varian satu arah resolusi pemindaian 900 dpi

Sumber Varian (SV)	JK	db	KR	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar (A)	0,0011	2	0,0006	0,2518	3,4
Dalam (D)	0,0526	24	0,0022	-	-
Total (T)	0,0537	26	-	-	-

Berdasarkan **Tabel 4.9**, didapatkan nilai $F_{hitung} = 0,2518$, sedangkan $F_{tabel} = 3,4$. Dengan begitu $F_{hitung} < F_{tabel}$ atau H_0 diterima artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil pengukuran lebar retak menggunakan *portable scanner* dengan resolusi pemindaian 900 dpi bila dibandingkan dengan *microcrack detector* dan jangka sorong.

d. Pengaruh resolusi pemindaian

Tabel 4.10 Analisis varian satu arah pengaruh resolusi pemindaian terhadap hasil pengukuran

Sumber Varian (SV)	JK	db	KR	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar (A)	0,0021	2	0,0010	0,145324	3,4
Dalam (D)	0,1701	24	0,0071	-	-
Total (T)	0,1721	26	-	-	-

Berdasarkan **Tabel 4.10**, didapatkan nilai $F_{hitung} = 0,1310$, sedangkan $F_{tabel} = 3,4$. Dengan begitu $F_{hitung} < F_{tabel}$ atau H_0 diterima artinya tidak terdapat pengaruh resolusi pemindaian *portable scanner* terhadap hasil pengukuran lebar retak. Seluruh hasil perhitungan F_{hitung} lebih jelasnya terdapat pada **Lampiran-1**.

Berdasarkan **Gambar 4.23** dan **Gambar 4.24**, ditunjukkan bahwa dari keseluruhan kesalahan relatif pada hasil pengukuran *portable scanner* dibandingkan dengan *microcrack detector* dan jangka sorong pada masing-masing retak masih di bawah 5% dan berdasarkan **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**, sebagian besar kesalahan relatif cenderung menurun dari resolusi pemindaian yang rendah ke resolusi pemindaian yang tinggi. Dari hasil pengujian hipotesis, menunjukkan bahwa tidak terdapat adanya perbedaan yang signifikan pada keseluruhan hasil pengukuran dengan *portable scanner*. Tetapi uji hipotesis juga menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh dari pengukuran lebar retak dengan *portable scanner* dari resolusi pemindaian yang rendah ke resolusi pemindaian yang tinggi.

Dari seluruh pengujian data yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa pengukuran lebar retak juga dapat dilakukan dengan menggunakan *portable scanner* karena hasil pengukuran yang tidak terlalu menunjukkan perbedaan dengan hasil pengukuran menggunakan *microcrack detector* dan jangka sorong.

Bila dilihat dari hasil kesalahan relatif, penggunaan *portable scanner* pada besar resolusi pemindaian yang berbeda juga akan mempengaruhi tingkat akurasi pengukuran alat tersebut. Hal ini dikarenakan semakin tinggi resolusi pemindaian, maka semakin baik pula *portable scanner* dalam menangkap objek yang akan dipindai. Sehingga dalam pembacaan lebar retak dengan *software* pengolah gambar nantinya akan lebih jelas karena gambar akan terbagi dalam ukuran pixel-pixel yang lebih kecil lagi.

Kelebihan yang dapat dimanfaatkan dengan menggunakan *portable scanner* dalam pengukuran lebar retak antara lain, memudahkan pengukuran di posisi yang sulit dilakukan bila dengan alat pengukuran yang pada umumnya. Selain itu data yang tersimpan, dalam bentuk gambar yang bisa disimpan dalam bentuk data pada komputer ataupun laptop.

Namun terdapat hal yang perlu diketahui bahwa semakin tinggi resolusi pemindaian, maka semakin besar kebutuhan memori untuk menyimpan data gambar hasil pemindaian. Dan untuk hasil pengukuran lebar retak yang paling tepat, disarankan untuk menggunakan *portable scanner* yang diatur pada resolusi pemindaian 900 dpi karena hasil pemindaian yang terbaik dan jelas. Dan tidak disarankan untuk mengatur *portable scanner* pada resolusi pemindaian 300 dpi karena pada hasil uji kesalahan relatif seperti yang ditampilkan pada **Tabel 4.6**, menunjukkan kesalahan relatif yang lebih tinggi dan hampir mendekati 5%.