

BAB 5

PEMBAHASAN

Dua metode penelitian yaitu simulasi dan eksperimen telah dilakukan sebagaimana telah diuraikan pada dua bab sebelumnya. Pada bab ini akan diuraikan mengenai analisa dan hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut.

5.1 Hasil dan analisa percobaan simulasi

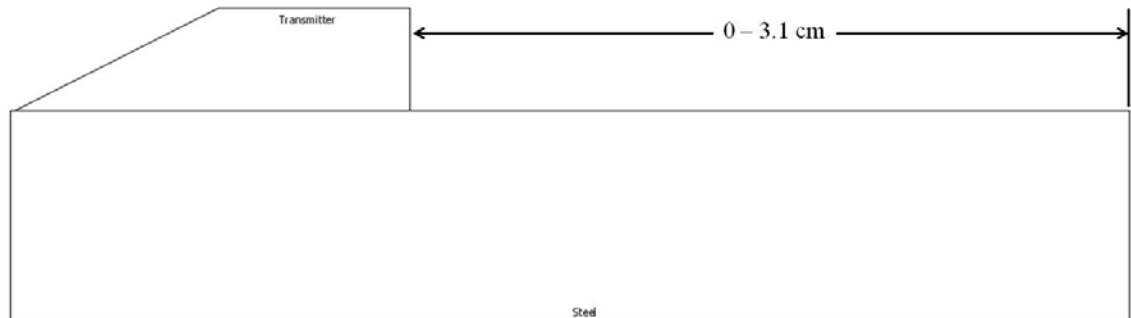
Pada semua simulasi yang dilakukan bentuk gelombang yang dimodelkan adalah berbentuk pulsa. Frekuensi dari gelombang tersebut adalah 5 MHz dengan amplitudo bernilai 1.

Untuk menguji apakah dengan sistem semacam ini akan mampu mendeteksi keberadaan keretakan ada atau tidak dan juga karakteristik sistem ini yang berkaitan dengan keretakan, maka dalam pengujian simulasi dilakukan beberapa variasi simulasi. Diantaranya

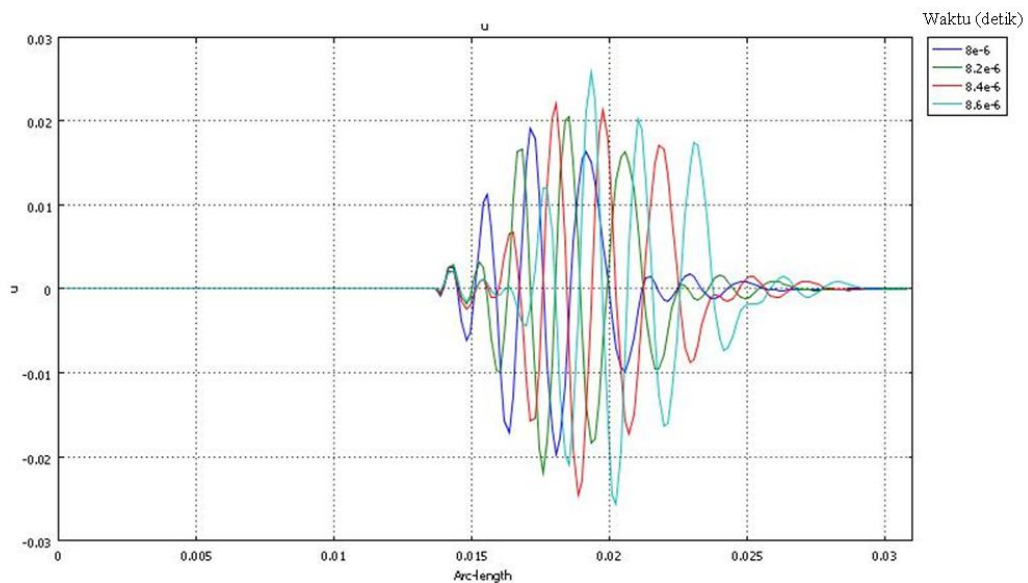
- 1) **Mensimulasikan model dengan ada dan tidak ada keretakan** : dengan tujuan melihat kemampuan dari sistem untuk membedakan suatu medium dengan dua kondisi yang berbeda.
- 2) **Memvariasikan kedalaman suatu keretakan** : dengan tujuan apakah sistem ini mampu membedakan suatu keretakan yang berbeda dimensi kedalamannya.
- 3) **Memvariasikan orientasi sudut suatu keretakan** : dengan tujuan apakah sistem ini mampu membedakan suatu keretakan yang berbeda sudut orientasi.
- 4) **Memvariasikan posisi relatif transduser terhadap keretakan** : dengan tujuan apakah sistem ini mampu menentukan posisi keretakan.

Tipe sensor ultrasonik yang digunakan memiliki karakteristik arah pancaran pulsa gelombang ultrasonik sebesar 70° . Agar diperoleh amplitudo sinyal pada receiver secara optimal maka diperlukan penentuan posisi yang tepat. Sebelum simulasi dengan variasi-variasi di atas dilakukan dilakukan simulasi awal untuk menentukan posisi receiver, sehingga hasil yang diperoleh akan menjadi rujukan pada eksperimen.

Prinsip penentuan posisi receiver pada simulasi adalah melihat nilai amplitudo dari fungsi potensial u dengan menggunakan *Line/Extrusion* pada *Cross section parameters*. Area yang dipilih adalah di depan Transmitter sejauh 0 hingga 3.1 cm.

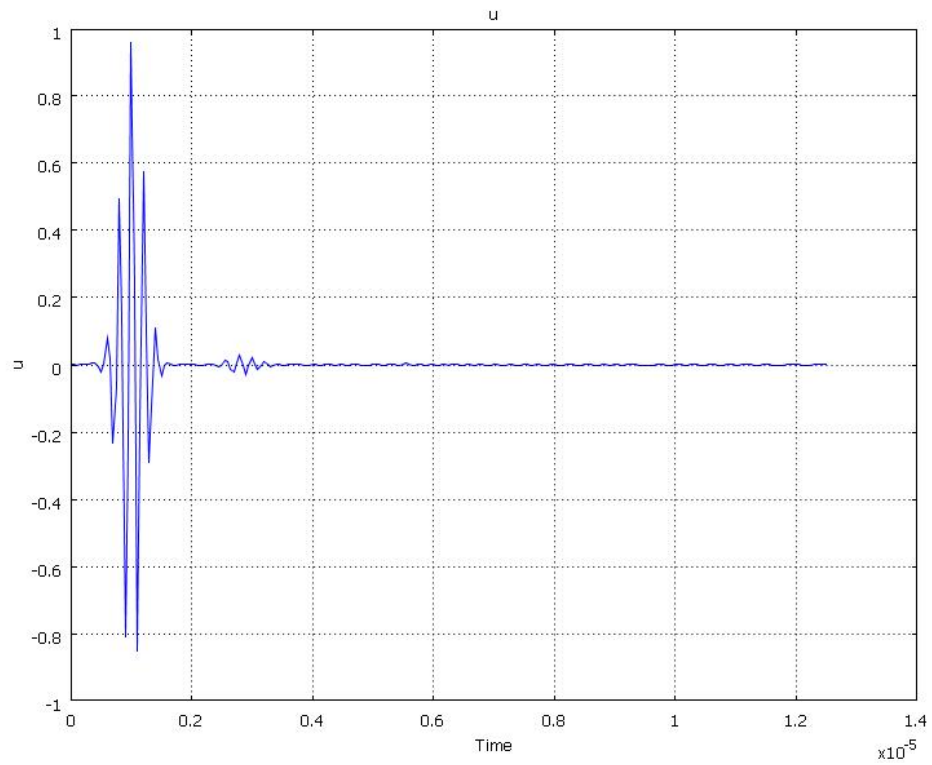


Gambar 5.1 Geometri penentuan posisi receiver

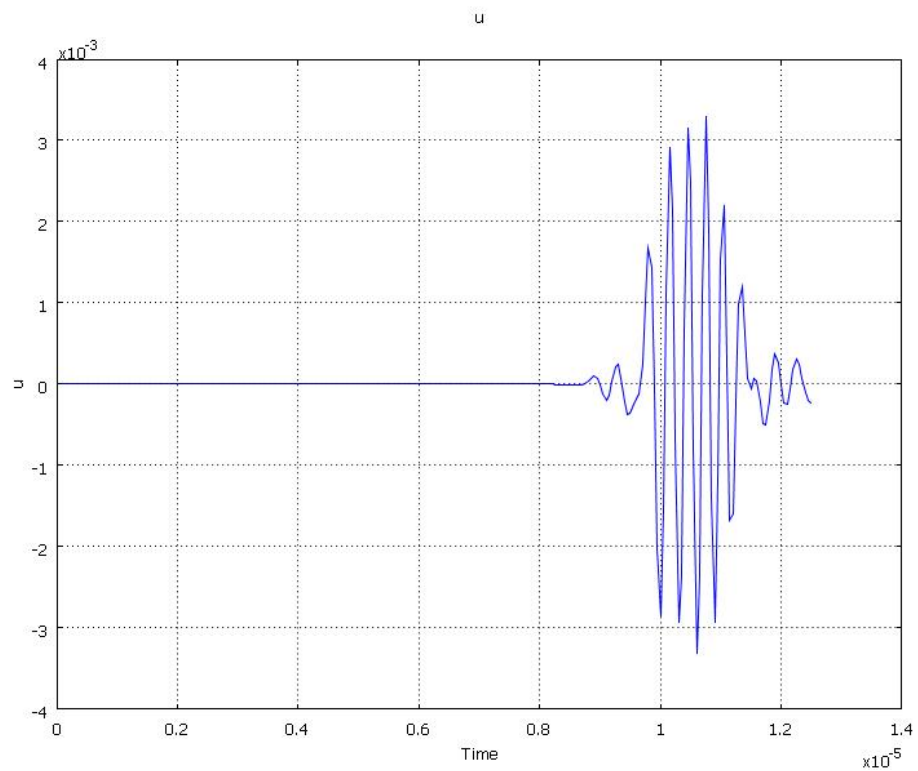


Gambar 5.2 Kurva variasi nilai u untuk jarak 0 – 3.1 cm pada 5 waktu yang berbeda

Hasil kurva Gambar 5.2 di atas mengindikasikan bahwa sinyal ultrasonik akan dapat dideteksi pada posisi antara 1.5 cm hingga 2.5 cm dari ujung Transmitter. Dan nilai tertinggi terletak pada posisi 2 cm atau 0.5 cm dari ujung Receiver.



Gambar 5.3 Model pulsa gelombang ultrasonik pada transmitter



Gambar 5.4 Model pulsa gelombang ultrasonik pada receiver

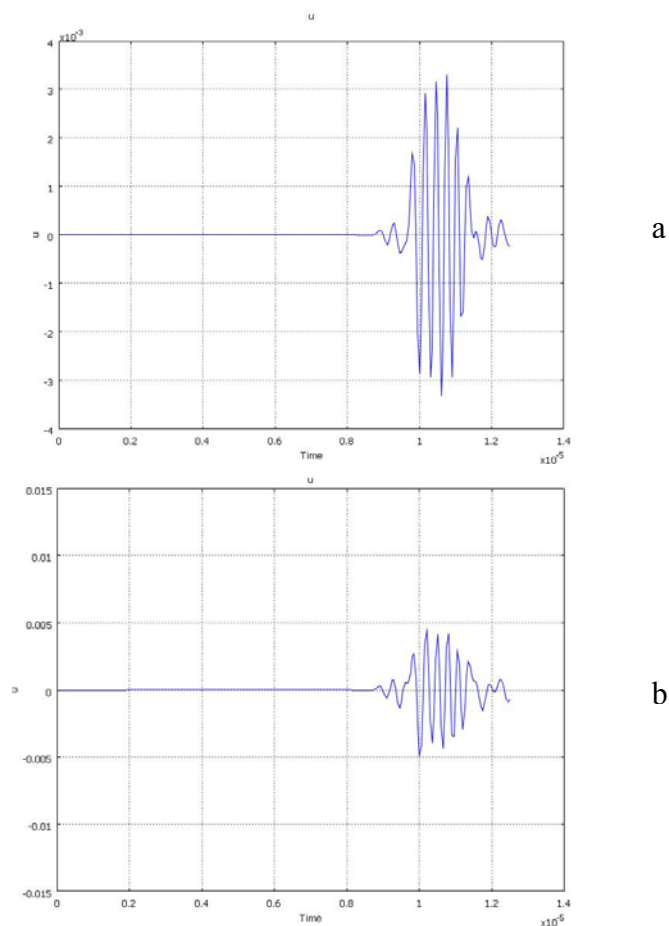
Adapun hasil dan analisa dari masing-masing simulasi adalah sebagai berikut :

1) Simulasi I

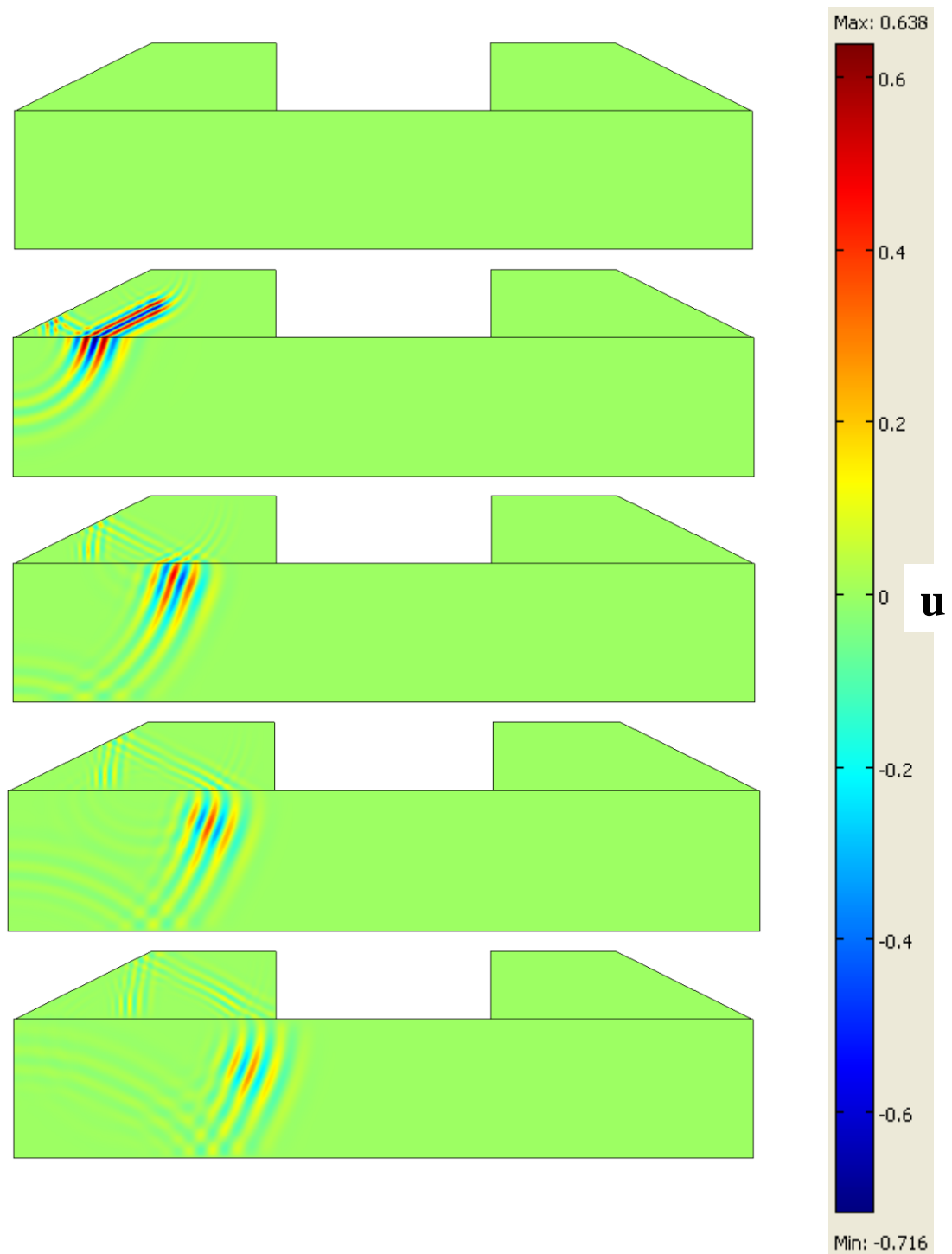
Disimulasikan dua buah model antara yang ada keretakan sedalam 1250 μm dengan yang tidak ada keretakan. Dengan parameter sbb :

Tabel 5.1 Data simulasi I

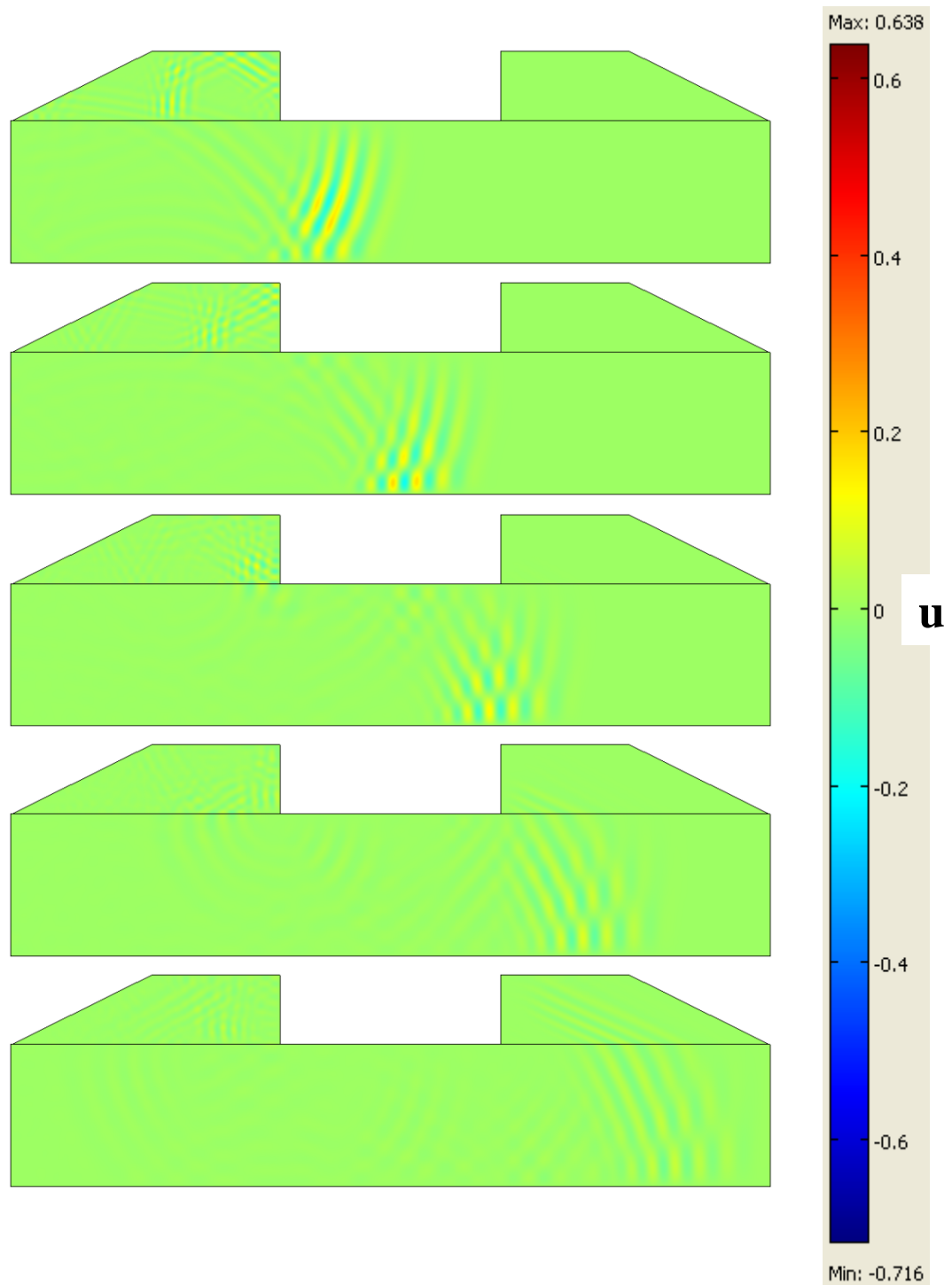
Keretakan	Jumlah Mesh	Derajat Kebebasan (DOF)	Waktu simulasi (detik)
Tidak Ada	164892	330845	1632.688
Ada (1250 μm)	165018	331119	1567.409



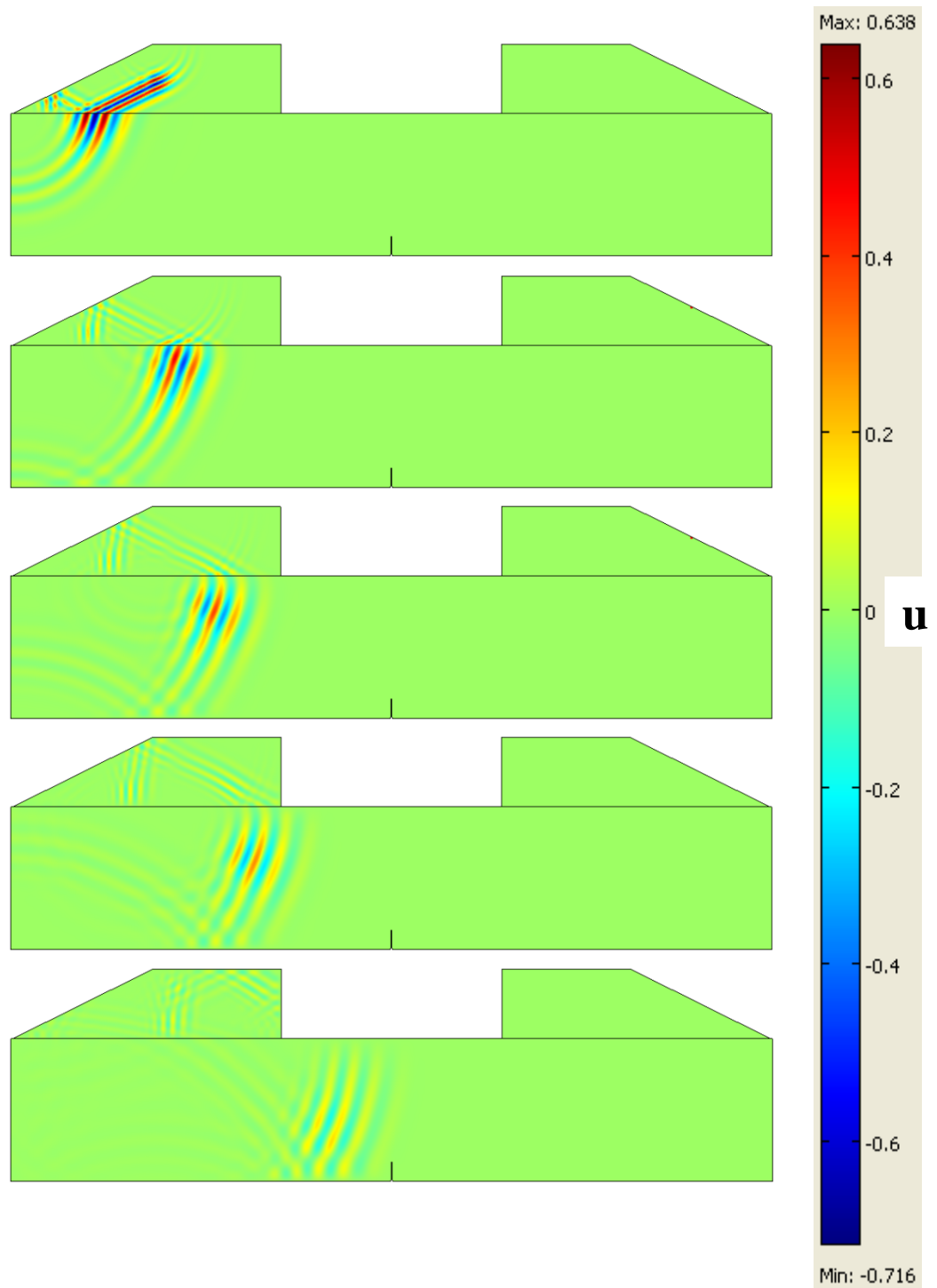
Gambar 5.5 a. Intensitas pada medium tanpa retak, b. Intensitas pada medium dengan retak



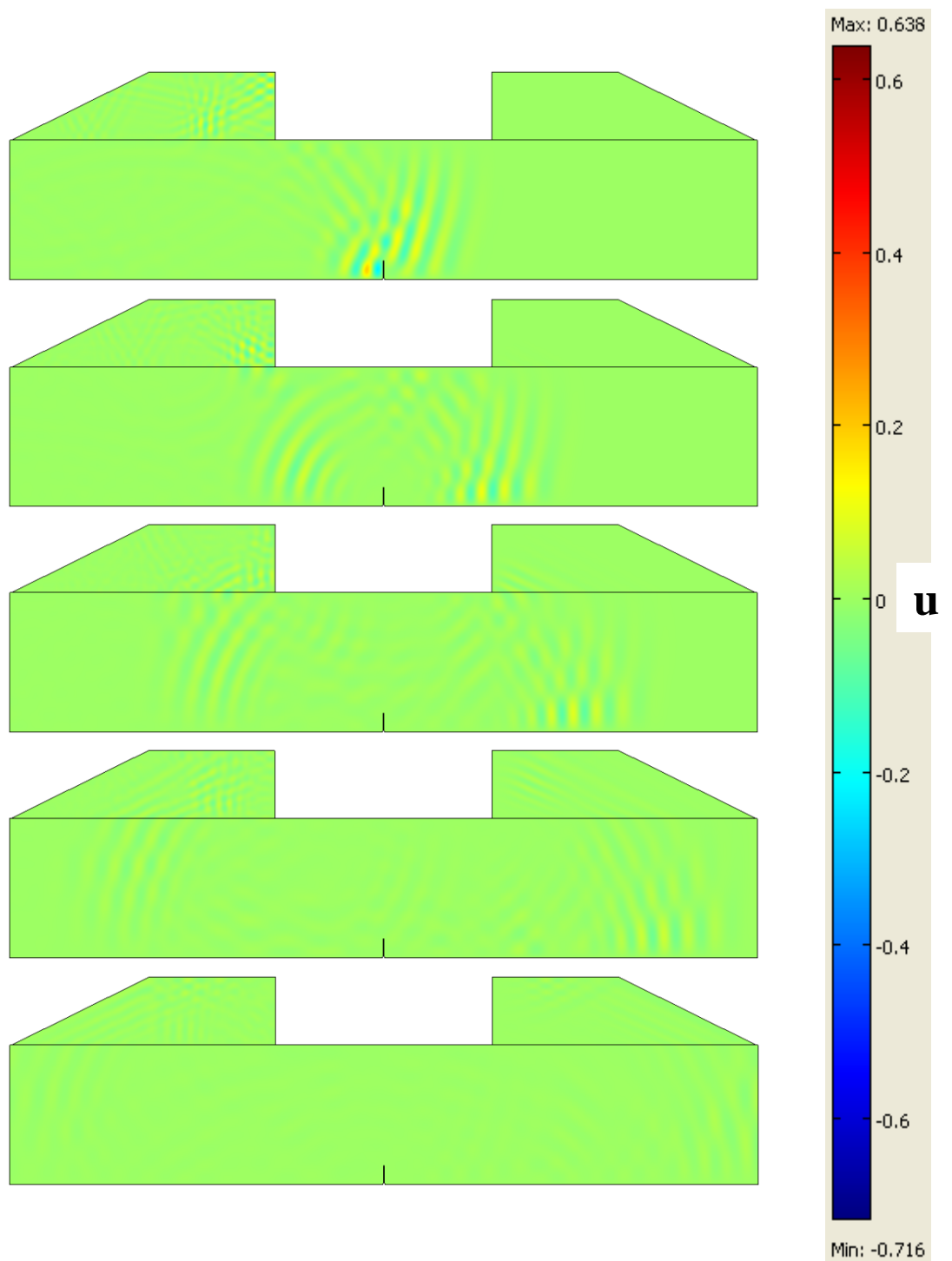
Gambar 5.6 Snapshot medium tanpa keretakan pada saat berturut-turut $t = 0 \mu\text{s}$, $t = 2 \mu\text{s}$, $t = 3 \mu\text{s}$, $t = 3.5 \mu\text{s}$, dan $t = 4 \mu\text{s}$



Gambar 5.7 Snapshot medium tanpa keretakan pada saat berturut-turut $t = 5 \mu\text{s}$, $t = 6 \mu\text{s}$, $t = 7 \mu\text{s}$, $t = 8 \mu\text{s}$, dan $t = 9 \mu\text{s}$



Gambar 5.8 Snapshot medium dengan keretakan $1250 \mu\text{m}$ pada saat berturut-turut $t = 2 \mu\text{s}$, $t = 3 \mu\text{s}$, $t = 3.5 \mu\text{s}$, $t = 4 \mu\text{s}$, dan $t = 5 \mu\text{s}$



Gambar 5.9 Snapshot medium dengan keretakan 1250 μm pada saat berturut-turut $t = 6 \mu\text{s}$, $t = 7 \mu\text{s}$, $t = 8 \mu\text{s}$, $t = 9 \mu\text{s}$, dan $t = 10 \mu\text{s}$

Dengan mengacu pada teori sebagaimana yang dijelaskan pada subbab 4.2 dengan penjelasan Gambar 4.5 dan 4.6 bahwa sebuah keretakan akan mampu menghambat medan rambat dari gelombang ultrasonik sehingga akan signifikan mengurangi intensitas yang akan diterima Receiver. Dari gambar-gambar di atas, disimpulkan bahwa sistem ini telah mampu membedakan adanya dua medium yang memiliki kondisi berbeda, yaitu ada retak dan tidak ada retak.

Namun demikian, ternyata tidak selamanya suatu keretakan akan mampu terdeteksi oleh sistem ini. Untuk itu dilakukan Simulasi II yang akan menentukan tingkat kedalaman keretakan yang mampu dideteksi oleh sistem.

2) Simulasi II

Untuk mencari hubungan antara kedalaman suatu keretakan dengan intensitas ultrasonik yang ditransmisikan oleh transduser, maka pada simulasi kedua dilakukan variasi dari kedalaman keretakan. Variasi dilakukan dari 0 hingga 1625 μm pada posisi yang tetap, yaitu dipermukaan logam dimana gelombang ultrasonik yang akan bertransmisi akan mengalami peristiwa refleksi.

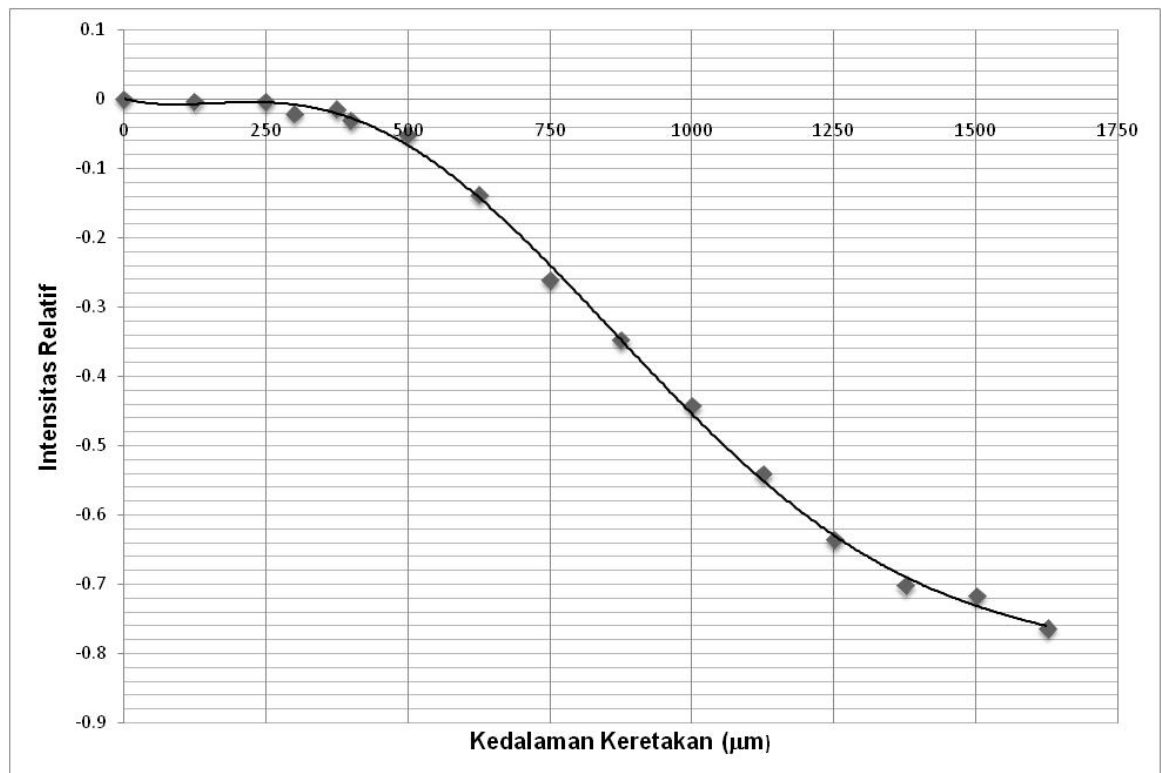
Tabel berikut berupa data parameter yang dihasilkan pada saat simulasi dijalankan.

Tabel 5.2 Data Simulasi II

Kedalaman Keretakan (μm)	Jumlah mesh	Derajat Kebebasan (DOF)	Waktu simulasi (detik)
0	164892	330845	1632.688
125	164950	330963	1600.234
250	165310	331685	1525.703
300	164908	330883	1655.328
375	165194	331455	1625.766
400	165098	331265	1626.421
500	165354	331779	1651.391
625	165208	331489	1660.875
750	165108	331291	1590.984
875	164890	330857	1580.797
1000	165018	331115	1590.687

Tabel 5.2 lanjutan

Kedalaman Keretakan (μm)	Jumlah mesh	Derajat Kebebasan (DOF)	Waktu simulasi (detik)
1125	165308	331697	1600.766
1250	165018	331119	1567.406
1375	165098	331281	1689.094
1500	164820	330727	1506.656
1625	165380	331849	1641.516



Gambar 5.10 Grafik efek kedalaman keretakan terhadap Intensitas Ultrasonik

Setelah didapatkan nilai *displacement* pada boundary transmitter, kemudian dicari nilai Intensitas. Akan diperoleh pula besarnya atenuasi dari suatu variasi kedalaman keretakan. Pada Gambar 5.8, merupakan hasil yang diperoleh dimana besarnya kedalaman keretakan dihubungkan dengan efek atenuasi yang terjadi. Sumbu y menyatakan Intensitas Relatif suatu medium dengan kedalaman keretakan tertentu terhadap intensitas suatu medium tanpa adanya keretakan.

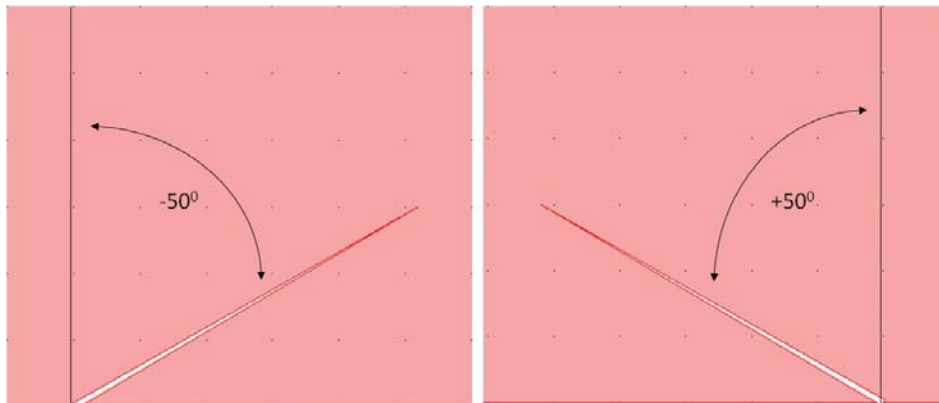
Pada grafik tersebut menyatakan bahwa kedua besaran tersebut akan semakin linier ketika kedalaman keretakan di atas 375 μm . Sedangkan keretakan di bawah itu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap intensitas gelombang ultrasonik yang ditransmisikan, tetapi tetap akan mampu menurunkan besar intensitas dari gelombang ultrasonik. Hal ini menunjukkan adanya batas kedalaman retak minimal sehingga berpengaruh secara signifikan pada intensitas ultrasonik yang merambat.

Secara fundamental dikatakan bahwa, peristiwa difraksi dan refleksi terjadi apabila suatu gelombang menemui suatu batas permukaan yang berbeda impedansi akustik dengan dimensi minimal sebesar panjang gelombang. Dengan $f = 5 \text{ MHz}$ dan $C_0 = 5850 \text{ m/s}$ akan didapatkan panjang gelombang yang merambat adalah 1170 μm . Sehingga seyogyanya pada simulasi yang dilakukan suatu keretakan akan berpengaruh pada kedalaman di atas 1250 μm . Tetapi karena transduser ultrasonik yang digunakan merupakan beritpe *narrowband* (2 MHz) maka sensitifnya tinggi (8). Sehingga perbedaan kedalaman keretakan yang kecil (minimal 25 μm yang pernah diuji) akan sangat berpengaruh.

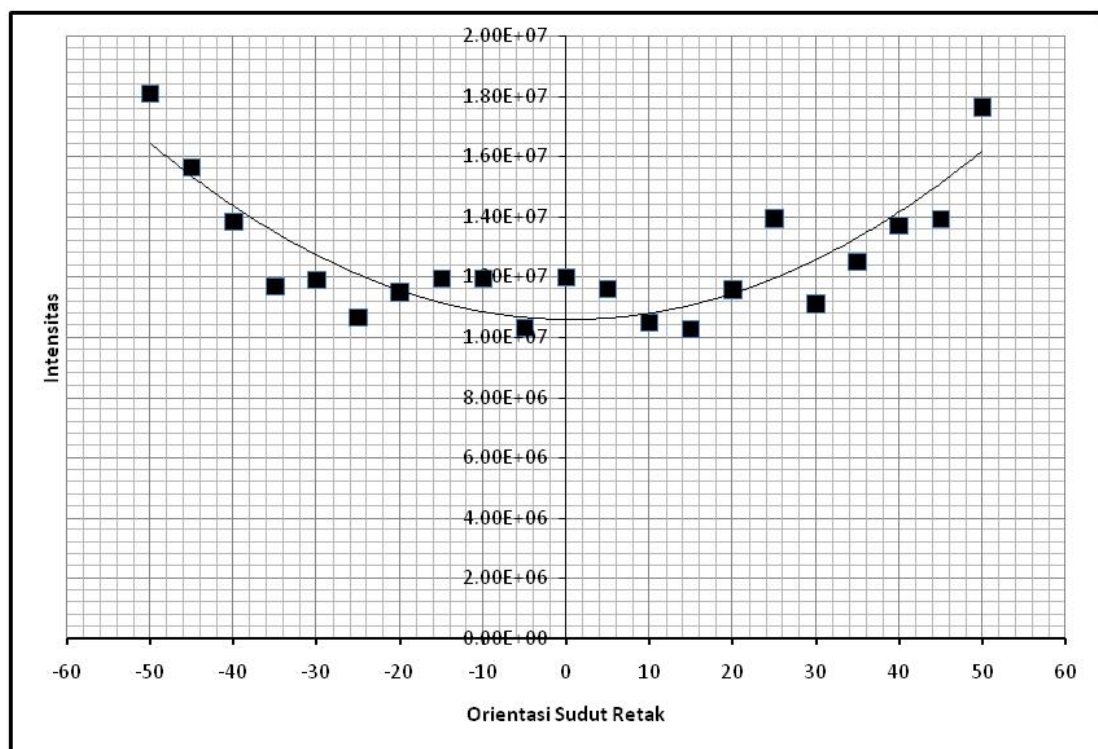
3) Simulasi III

Suatu bentuk retak tak selamanya dalam posisi vertikal. Untuk itu akan dicoba mengenai karakteristik sistem ini pada orientasi sudut suatu keretakan yang berbeda.

Sudut yang disimulasikan dimulai dari -50^0 hingga $+50^0$ dengan perubahan setiap 5^0 .



Gambar 5.11 Model retak dengan orientasi sudut -50° dan $+50^{\circ}$



Gambar 5.12 Grafik hubungan antara orientasi sudut keretakan dengan intensitas

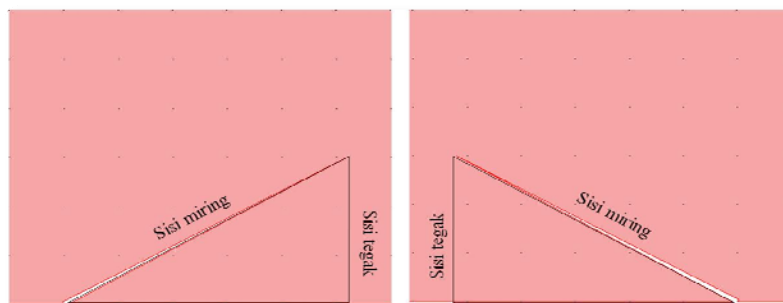
Gambar 5.10 merupakan hasil yang diperoleh dari simulasi III. Dari grafik tersebut, besarnya intensitas ternyata tidak merepresentasikan secara akurat dari orientasi suatu keretakan. Besarnya intensitas nampak simetris atau sama besarnya jika dibandingkan antara sudut negatif dan positif. Hal ini membuktikan bahwa sistem ini tidak dapat mendeskripsikan karakteristik intensitas terhadap sudut keretakan.

Tabel 5.3 Data simulasi III

Sudut Orientasi keretakan	Jumlah mesh	Derajat Kebebasan (DOF)	Waktu simulasi (detik)
50	165215	119162	513.547
45	59365	119406	516.062
40	59197	119072	508.968
35	59433	119544	506.343
30	59345	119370	706.281
25	59204	119089	509.578
20	59202	119087	474.859
15	59262	119209	702.562
10	59425	119540	700.5
5	59398	119497	518.156
0	59019	118698	513.938
-5	59624	119957	706.25
-10	59317	119328	505.687
-15	59122	118931	508.75
-20	59305	119294	534.453
-25	59227	119136	710.813
-30	59244	119169	505.734
-35	59211	119100	702.625
-40	59077	118832	495.75
-45	59238	119153	496.813
-50	59107	118890	507.594

Persamaan antara sudut yang negatif dengan yang positif adalah pada sisi tegaknya. Semua sudut memiliki besar sisi miring yang sama, tetapi tidak tentu pada sisi tegaknya. Dari simulasi menunjukkan bahwa suatu keretakan yang memiliki sisi tegak yang besarnya sama akan memiliki besar hambatan terhadap gelombang ultrasonik yang sama, dengan demikian intensitas yang diterima akan sama.

Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar berikut :



Gambar 5.13 Perbandingan sisi tegak antara dua keretakan yang beda sudut orientasinya, (kiri) $+50^{\circ}$ (kanan) -50°

4) Simulasi IV

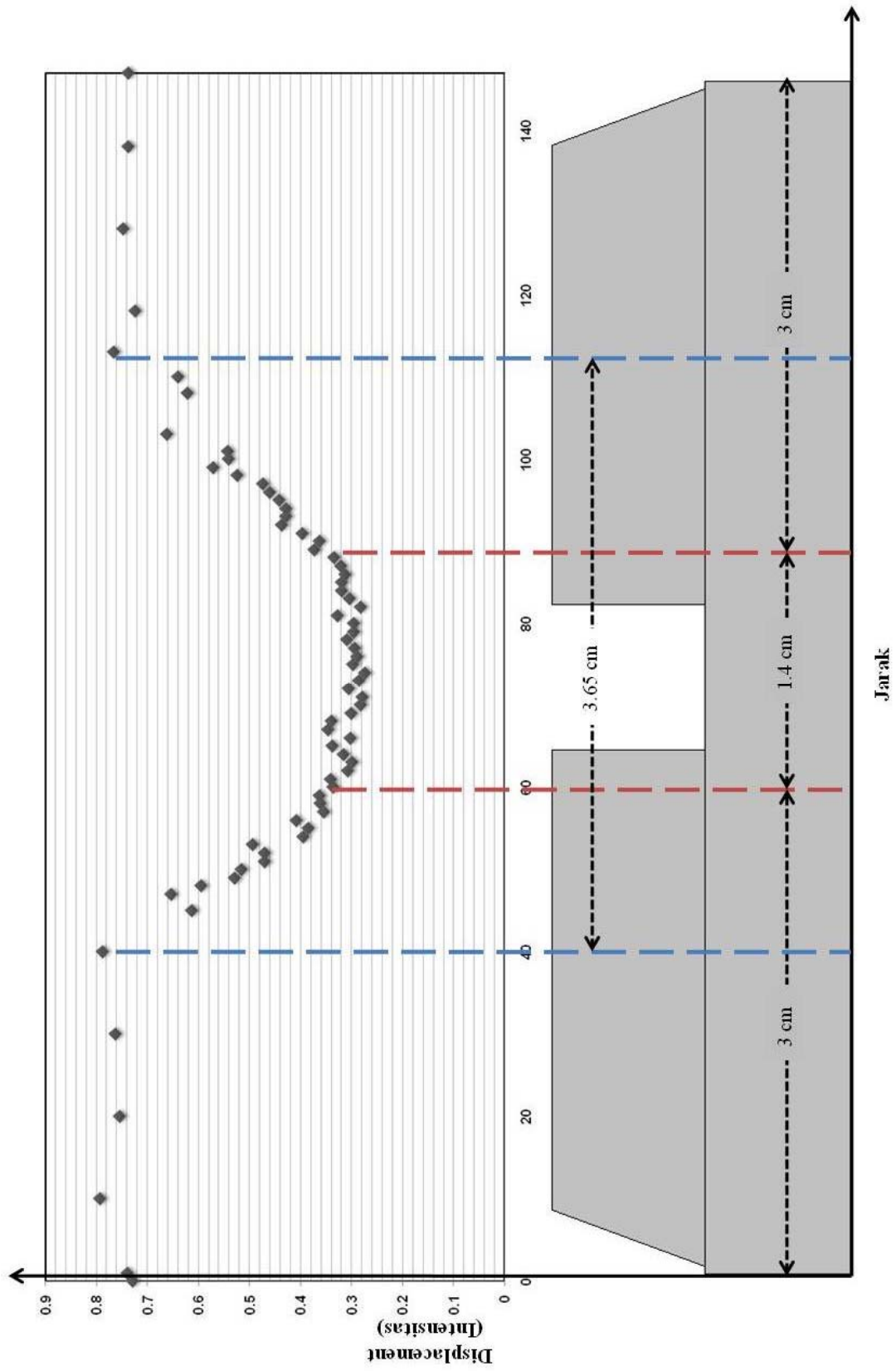
Kemungkinan intensitas yang diterima adalah tidak sepenuhnya berkaitan dengan kedalaman. Percobaan selanjutnya akan menunjukkan bagaimana variasi posisi suatu keretakan yang berkaitan dengan variasi intensitas yang diterima.

Pada percobaan sebelumnya, suatu keretakan di posisikan tepat ditengah-tengah transduser Transmitter dan Receiver. Untuk percobaan berikut akan disimulasikan berbagai variasi posisi keretakan namun dengan besar kedalaman yang sama.

Gambar 5.12 telah membuktikan bahwa rentang area yang hanya mampu dideteksi oleh sistem adalah sekitar 3.65 cm diantara posisi kedua transduser. Sedangkan rentang jarak yang sangat signifikan hanya 1.4 cm. Daerah sepanjang 1.4 cm ini merupakan daerah yang akan menghasilkan intensitas pada receiver hampir sama besar. Dengan demikian sistem ini hanya dapat menunjukkan area sepanjang 1.4 cm yang merupakan area yang berpotensi terdapat keretakan. Area sepanjang ini dapat ditemukan dengan menelusuri seluruh tabung. Jika menemukan data intensitas semacam ini, maka area tersebut dimungkinkan adanya keretakan.

Simulasi parameter ini menggunakan transduser dengan bandwidth 5 MHz, berbeda dengan karakteristik transduser pada ketiga simulasi sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan resolusi yang tinggi.

Dengan mengetahui karakteristik semacam ini, maka telah didapat area yang sepanjang $L \approx 1.4$ cm yang merupakan fungsi distribusi keretakan. Fungsi ini akan digunakan untuk tahapan proses pencitraan dengan sistem tomografi. Yang akan dilaksanakan pada tahapan penelitian selanjutnya.



Gambar 5.14 Pengaruh perubahan posisi relatif keretakan dan transduser terhadap intensitas

5.2 Hasil dan analisa percobaan eksperimen

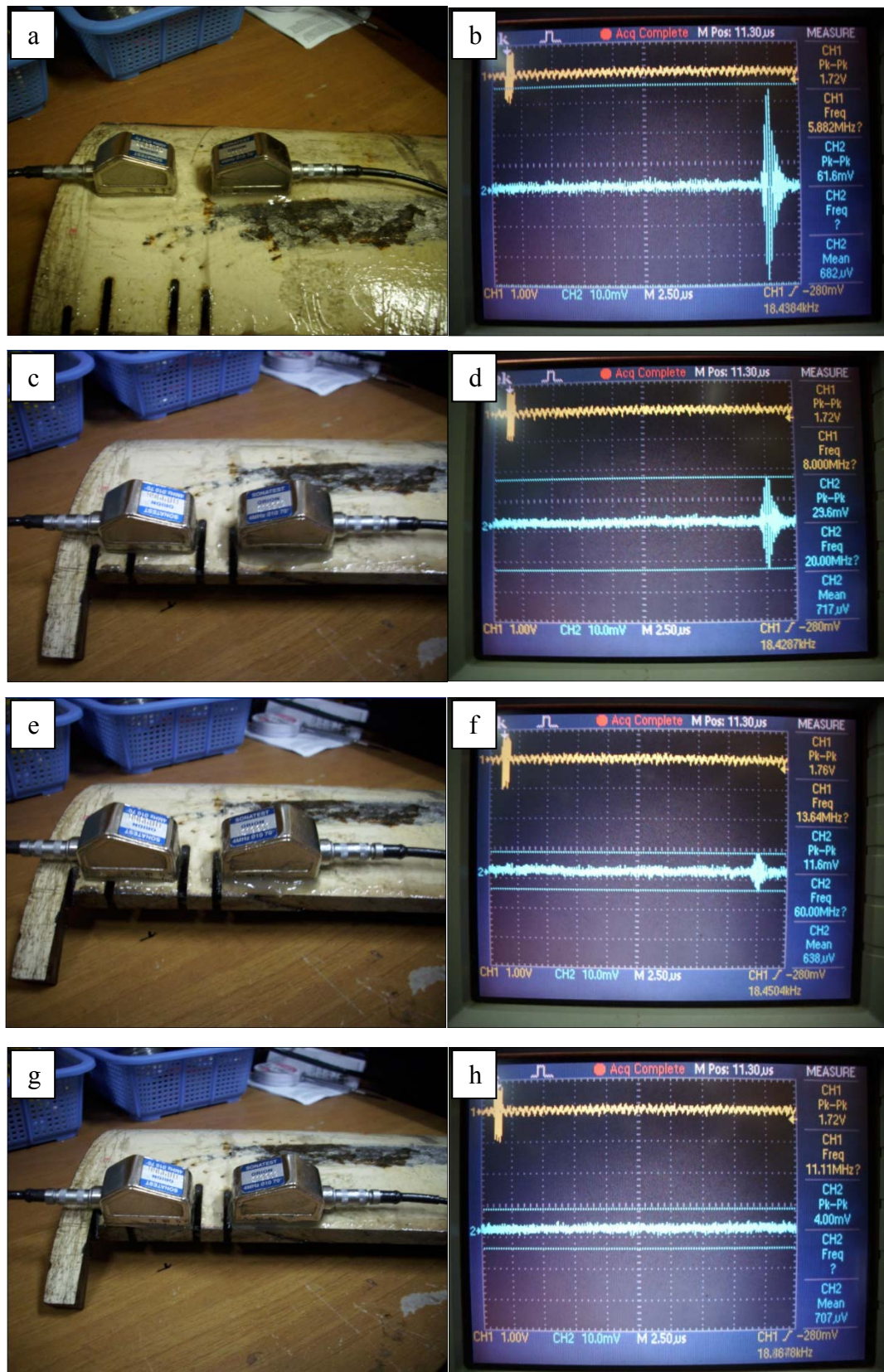
Pada eksperimen yang dilakukan data dari transduser receiver berada pada probe channel 2 (warna biru) sedangkan transduser transmitter pada channel 1 (warna kuning). Eksperimen yang telah dilakukan pada sebuah medium logam yang merupakan potongan dari sebuah tabung CNG (Gambar 4.5) hanya memvariasikan posisi pada medium tsb. Medium ini memiliki bagian-bagian yang berbeda kondisinya. Gambar-gambar di halaman selanjutnya merupakan hasil yang diperoleh dari variasi kondisi medium.

Waktu tempuh gelombang pulsa ultrasonik yang diperoleh dari eksperimen adalah berkisar 20 μ s. Tidak terpaut jauh pada simulasi yang membutuhkan waktu tempuh adalah 16 μ s.

Pada posisi Gambar (5.16.a) medium dalam kondisi normal (tidak ada kecacatan). Hasil menunjukkan (Gambar 5.16.b) nilai intensitas di atas 50 mV *peak-to-peak*. Nilai ini akan selalu bervariasi, bukan hanya disebabkan oleh adanya anomali impedansi medium tetapi bisa diakibatkan adanya efek *couplant* atau *coating* pada medium. Untuk itu telah dicoba untuk medium normal yang lain, dan rata-rata dari hasil tsb menunjukkan intensitas yang berada di atas 50 mV.

Kondisi cacat pada medium adalah berupa dua buah belahan yang kedalamannya miring, sehingga akan nampak adanya variasi kedalaman. Dimulai dari posisi Gambar 5.16.c adalah yang terendah kedalamannya hingga posisi Gambar 5.16.e adalah yang terdalam.

Intensitas yang ditunjukkan pada Gambar mulai dari 5.16.d, 5.16.f dan 5.16.h semakin menurun. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan secara linier antara besarnya kedalaman rongga dengan penurunan intensitas.



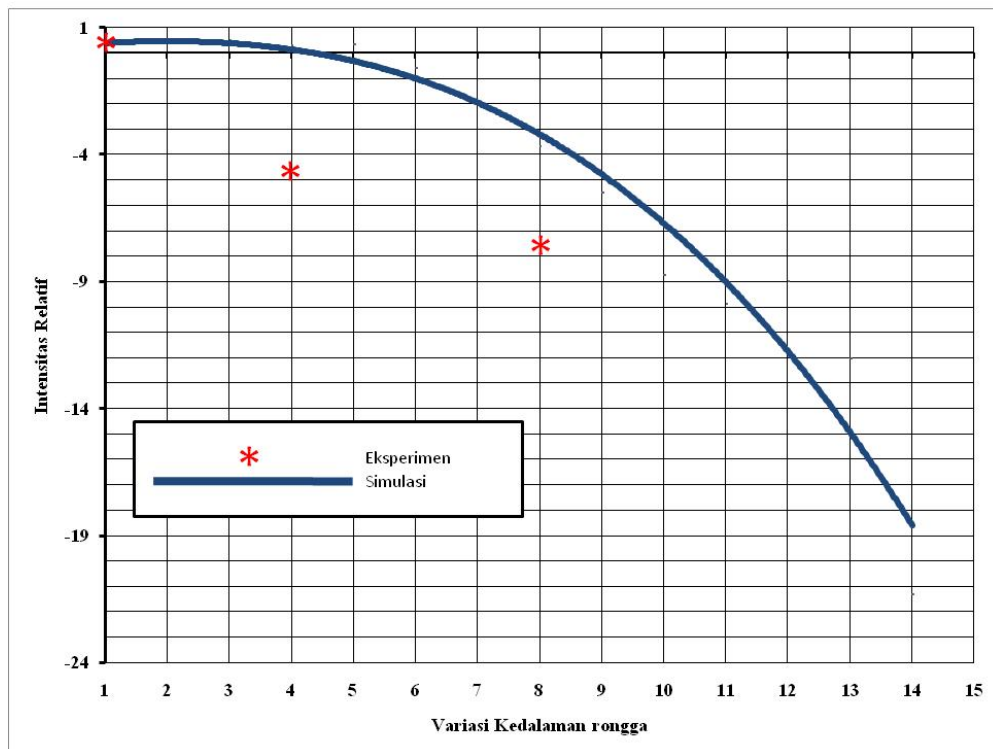
Gambar 5.15 Variasi posisi eksperimen dan hasilnya

5.3 Perbandingan hasil Simulasi dengan Eksperimen

Untuk menguji keakurasian dari metode simulasi maka percobaan berikut akan membandingkan hasil dari simulasi dengan eksperimen yang telah dilakukan. Parameter geometri yang dibuat disesuaikan dengan kondisi geometri pada medium uji yang digunakan saat eksperimen.

Tabel 5.4 Data Simulasi V

Parameter geometri	Jumlah mesh	Kedalaman (mm)	
		Rongga 1 (d_1)	Rongga 2 (d_2)
Tak ada rongga	165144	0	0
Kedalaman 1	163812	1.5	0
Kedalaman 2	163177	2	0.5
Kedalaman 3	162119	2.5	1
Kedalaman 4	161273	3	1.5
Kedalaman 5	164956	3.5	2
Kedalaman 6	164280	4	2.5
Kedalaman 7	163330	4.5	3
Kedalaman 8	162268	5	3.5
Kedalaman 9	161566	5.5	4
Kedalaman 10	160700	6	4.5
Kedalaman 11	159816	6.5	5
Kedalaman 12	158728	7	5.5
Kedalaman 13	158058	7.5	6
Kedalaman 14	156976	8	6.5

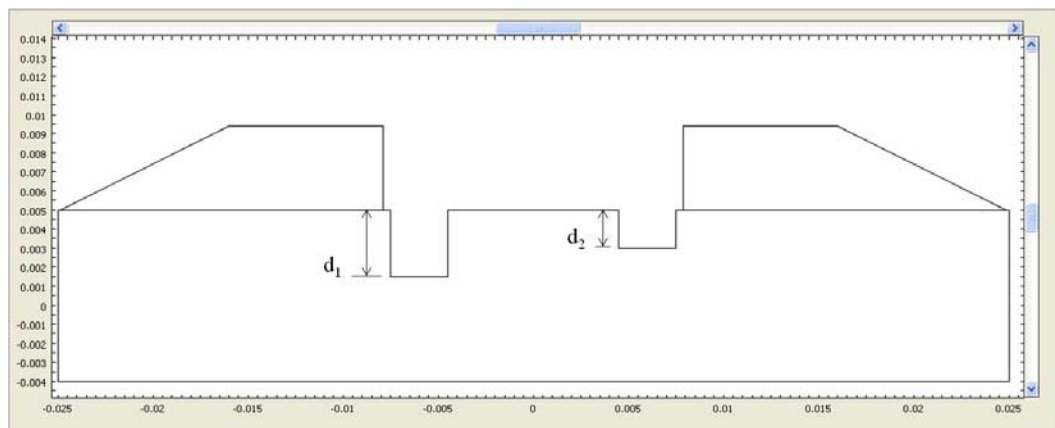


Gambar 5.16 Kurva perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen

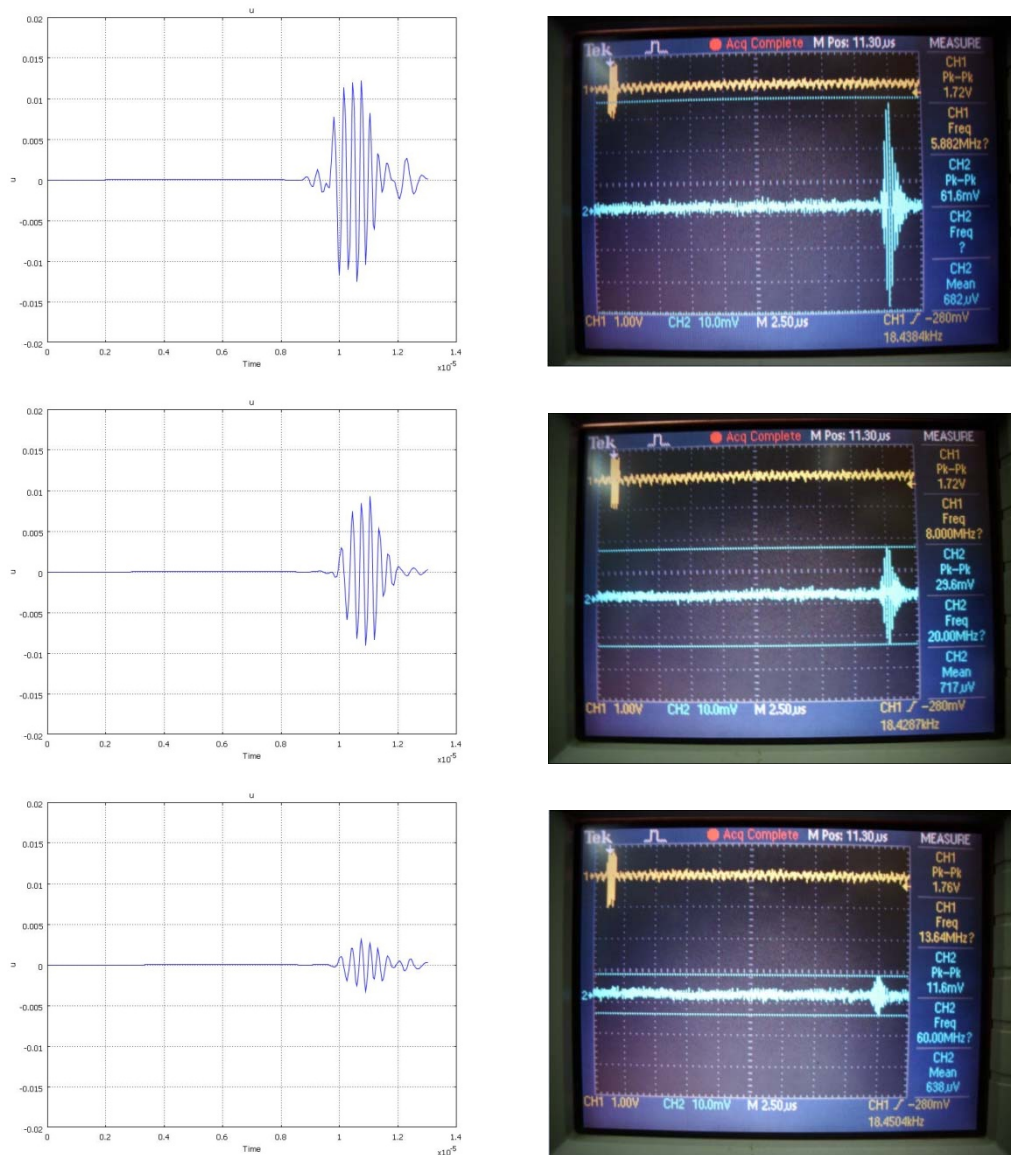
Perbandingan hasil antara kedua metode dianalisa dengan membandingkan data intensitas relatifnya. Intensitas relatif merupakan rasio logaritmik antara intensitas pada variasi kedalaman rongga 1, 2, 3 dan seterusnya terhadap variasi kedalaman rongga 0 (tak berongga).

Pada kurva Gambar 5.14 di atas hasil metode simulasi menunjukkan adanya penurunan intensitas untuk setiap kedalaman rongga yang berbeda. Kedalaman rongga semakin dalam berturut-turut mulai dari variasi 1, 2, 3 dan seterusnya. Namun sinyal utama gelombang ultrasonik belum terpengaruhi oleh rongga pada kedalaman 2 dan 3 sehingga intensitas relatifnya hampir sama.

Hasil yang diperoleh eksperimen merupakan sinyal yang tercampuri dengan adanya noise. Besarnya noise terlihat pada Gambar 5.13h yaitu 4,0 mV. Parameter kedalaman rongga pada eksperimen untuk kedalaman rongga eksperimen 1 sebanding dengan kedalaman rongga simulasi 1, kedalaman rongga eksperimen 2 sebanding dengan kedalaman rongga simulasi 4 dan kedalaman rongga eksperimen 3 sebanding dengan kedalaman rongga simulasi 8. Hasil yang ditunjukkan melalui eksperimen menyatakan bahwa terdapatnya penurunan intensitas dengan *trendline* yang mendekati linier.



Gambar 5.17 Geometri variasi kedalaman rongga simulasi dengan variasi $d_1 = 0 - 8$ mm dan $d_2 = 0 - 6.5$ mm



Gambar 5.18 perbandingan amplitudo antara berbagai variasi kedalaman untuk hasil simulasi (kiri) dan eksperimen (kanan). Dari atas, pertama: tak ada rongga, kedua: kedalaman rongga simulasi 4 dan eksperimen 2, ketiga: kedalaman rongga simulasi 8 dan eksperimen 3.