

UNIVERSITAS INDONESIA

**VERIFIKASI PENYINARAN IMRT MENGGUNAKAN
2D ARRAY MATRIX EVOLUTION**

SKRIPSI

YAHYA MUSTOFA

0906602194

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

DESEMBER 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**VERIFIKASI PENYINARAN IMRT MENGGUNAKAN
2D ARRAY MATRIX EVOLUTION**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh sarjana sains

YAHYA MUSTOFA

0906602194

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM


PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

DESEMBER 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan benar.

Nama : Yahya Mustofa
NPM : 0906602194
Tanda tangan : 
Tanggal : 12 Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Yahya Mustofa
NPM : 0906602194
Program studi : Fisika medis
Judul skripsi : Verifikasi Penyinaran IMRT Menggunakan 2D Array
MatriXX Evolution

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Medis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dwi Seno K. Sihono, M.Si. (.....)
Pembimbing II : Heru Prasetyo, M.Si. (.....)
Penguji : Prof. DR. Djarwani S. Soejoko (.....)
Penguji : Dessy Arianty, M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 12 Desember 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Medis pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, kakak – kakakku yang selalu memberikan perhatian, semangat dalam kuliah di Universitas Indonesia.
2. Dwi Seno K. Sihono, M.Si sebagai pembimbing 1 yang telah membimbing dalam penulisan skripsi ini.
3. Heru Prasetyo, M.Si sebagai pembimbing 2 yang telah membimbing, meluangkan waktu meskipun sibuk, serta memberikan arahan dan memberi ilmu yang baru dalam penulisan skripsi ini.
4. Prof. DR. Djarwani S. Soejoko sebagai penguji 1 yang telah memberikan masukan dalam perbaikan skripsi ini.
5. Dessy Arianty, M.Si sebagai penguji 2 yang telah memberikan masukannya dalam perbaikan skripsi ini.
6. Seluruh dosen Departemen fisika Universitas Indonesia yang telah memberikan pengajaran selama penulis menjadi mahasiswa.
7. Teman – teman fisika medis ekstensi 2009, atas kerjasamanya dalam perkuliahan, khususnya Devi, Misbah, Eunike, Merischa atas kerjasamanya dalam penulisan skripsi ini.
8. Unit radioterapi rumah sakit MRCCC yang telah memberikan ijin, waktu untuk penelitian ini, khususnya kepada dr. Fielda Djuita, Sp.Rad (K).Onk.Rad, Rina Taurisia, Andreas, Fadli yang telah memberikan waktu untuk membimbing penulis dalam penelitian ini.

9. Senior kerja di PTKMR bapak DR. P.Y Topo S, bapak Ir. Bambang WO, bapak Sandya Eko R, yang telah membantu membimbing, memberi masukan penulis dalam penulisan skripsi ini.
10. Seluruh dosen dan staff Departemen Fisika Universitas Indonesia dalam membantu proses perkuliahan selama penulis menjadi mahasiswa.
11. Rumah Sakit MRCCC yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.



**Penulis
2011**

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yahya Mustofa
NPM : 0906602194
Program Studi : Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Verifikasi Penyinaran IMRT menggunakan 2D Array MatriXX Evolution

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Desember 2011

Yang menyatakan



(Yahya Mustofa)

Nama : Yahya Mustofa
Program studi : S1 Fisika
Judul : Verifikasi Penyinaran IMRT Menggunakan 2D Array MatriXX
Evolution

IMRT merupakan salah satu teknik radioterapi menggunakan pesawat linear akselerator dengan banyak lapangan penyinaran yang menggunakan intensitas radiasi yang berbeda – beda untuk mendapatkan dosis maksimal pada organ target tumor dan dosis seminimal mungkin pada organ sehat. Sebelum dilakukan penyinaran ke pasien, diperlukan verifikasi penyinaran IMRT antara perhitungan pada TPS dan pada keadaan sebenarnya di lapangan. Verifikasi dilakukan dengan menggunakan MatriXX Evolution. Dari penelitian yang telah dilakukan pada 5 pasien dengan klinis Glioblastoma Multiforme, dimana 3 pasien dilakukan verifikasi pada setiap lapangan dan gabungan semua lapangan, 2 pasien dilakukan verifikasi gabungan semua lapangan. Didapatkan kesesuaian piksel bagus untuk semua pasien dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % *delta dose*, dan 2 mm DTA. Hasil verifikasi untuk semua lapangan penyinaran didapat kesesuaian piksel yaitu 99,64 %; 99,81 %; 99,69 %; 99,35 %; 99,67 % untuk pasien 1 - 5. Kesesuaian piksel untuk verifikasi setiap lapangan penyinaran pada pasien 1; 99,38 %; 95,47 %; 99,63 %; 98,98 %; 99,86 %; pasien 2; 96,56 %; 98,65 %; 99,54 %; 99,63 %; 98,00 %; pasien 3; 98,67 %; 97,70 %; 99,81 %; 99,52 %; 99,26 %. Perbedaan pengukuran disebabkan antara lain karena high dose gradient, daerah dosis rendah, dan penumbra. Pengukuran menggunakan detektor selain memiliki keuntungan dari waktu pengukuran yang lebih pendek, juga memiliki kelemahan ukuran detektor berdiameter 4,5 mm dan jarak antara detektor 7 mm. Yang akan menunjukkan perbedaan besar ketika detektor melakukan pengukuran pada posisi tertentu seperti daerah dari dosis gradien, dosis rendah, penumbra sebagai detektor 4,5 mm diameter.

Kata kunci:
IMRT, verifikasi, MatriXX Evolution

ABSTRACT

Name : Yahya Mustofa
Program study : Physics
Title : IMRT Verification Using 2D Array MatriXX Evolution

IMRT is one of radiotherapy technique using a linear accelerator with a lot of radiation field segments with different radiation intensity to get the maximum dose in the target organ tumor and minimal dose to healthy organs. Before the irradiation is done to the patient, it is required to verify the TPS calculations on the actual situation. The verification is done using MatrixX Evolution detector arrays. During this study we had been performed measurement for 5 patients with Glioblastoma Multiforme, which consist of 3 patients verified on each field and composite field and 2 patients verified using composite field. Each measurement points must pass dosimetry criteria $\gamma \leq 1$ at 2% delta dose, and 2 mm DTA. Verification for composite field passing level are 99.64%, 99,81%, 99,69%, 99,35%, 99,67% for patient number 1-5 respectively. Passing level for each field irradiation on patient 1 are 99.38%, 95.47%, 99.63%, 98.98%, 99.86%; patient 2 96.56%, 98.65%, 99.54%, 99.63%, 98.00% and patient 3 98.67%, 97.70%, 99.81%, 99.52%, 99.26%. Measurement discrepancy can be caused by the high dose gradient, low-dose region, and the penumbra. Active measurement using detector array besides having advantage of shorter time measurement, it also has drawbacks, which are big detector size 4.5mm and 7mm detector placing, which will showed big discrepancy when detector doing measurement at certain position such as regions of the gradient dose, low dose, penumbra as 4.5 mm diameter detector.

Key words:
IMRT, verification, MatriXX Evolution

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Perumusan masalah.....	1
1.3. Tujuan penelitian	1
1.4. Batasan masalah.....	1
1.5. Sistematika penelitian	2
BAB II. DASAR TEORI	3
2.1. <i>Intensity Modulated Radio Therapy</i> (IMRT).....	3
2.2. Perencanaan radioterapi.....	4
2.3. <i>Treatment Planning System</i> (TPS).....	4
2.4. Perangkat <i>MatriXX Evolution</i> dan <i>MULTICube</i>	6
2.5. Verifikasi penyinaran IMRT.....	8
BAB III. METODE PENELITIAN.....	11
3.1. Acuan perencanaan	11
3.2. Penyinaran radiasi pada <i>MatriXX Evolution</i>	13
3.3. Analisa menggunakan perangkat lunak <i>OmniPro I'mRT</i>	14

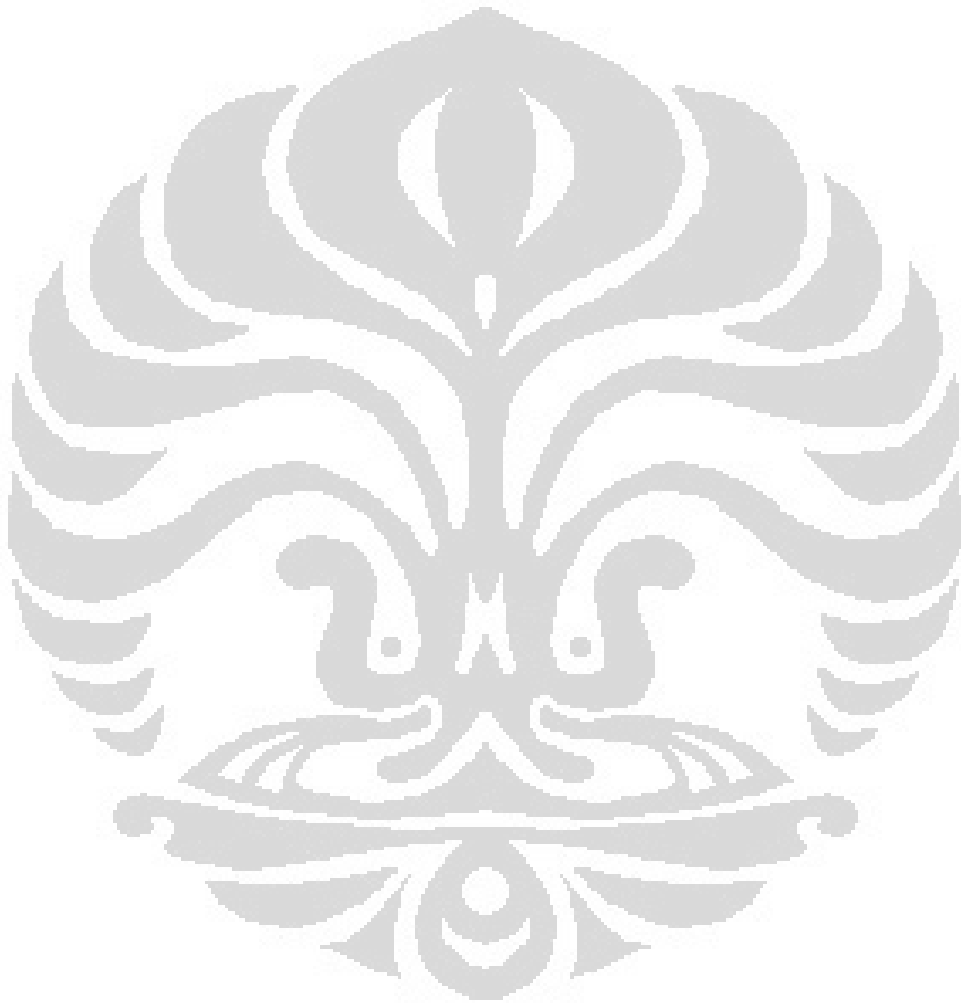
3.4.Peralatan	14
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1. Verifikasi pada kasus pasien 1 “ <i>Glioblastoma Multiforme</i> ”	17
4.1.1. Verifikasi setiap lapangan penyinaran	17
4.1.2. Verifikasi semua lapangan penyinaran	24
4.2. Verifikasi pada kasus pasien 2 “ <i>Glioblastoma Multiforme</i> ”	26
4.2.1. Verifikasi setiap lapangan penyinaran	26
4.2.2. Verifikasi semua lapangan penyinaran	33
4.3. Verifikasi pada kasus pasien 3 “ <i>Glioblastoma Multiforme</i> ”	35
4.3.1. Verifikasi setiap lapangan penyinaran	35
4.3.2. Verifikasi semua lapangan penyinaran	42
4.4. Verifikasi pada kasus pasien 4 “ <i>Glioblastoma Multiforme</i> ”	44
4.5. Verifikasi pada kasus pasien 5 “ <i>Glioblastoma Multiforme</i> ”	46
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Multi Leaf Colimator (MLC)</i>	4
Gambar 2.2. Prinsip rasio terapeutik.....	5
Gambar 2.3. Perencanaan penyinaran IMRT	6
Gambar 2.4. <i>MatriXX Evolution(a) MULTICube (b)</i>	7
Gambar 2.5. Skema konsep teori metode evaluasi gamma.....	9
Gambar 3.1. Perubahan arah penyinaran pada verifikasi IMRT pada setiap lapangan penyinaran.....	12
Gambar 3.2. Perubahan arah penyinaran pada verifikasi IMRT pada akumulasi lapangan penyinaran.....	13
Gambar 3.3. Penyinaran MatriXX Evolution	14
Gambar 3.4. Kalibrasi MatriXX Evolution.....	15
Gambar 3.5. Peletakan MatriXX Evolution pada MULTICube diatas meja pesawat terapi.....	16
Gambar 4.1. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 1.....	18
Gambar 4.2. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 2.....	19
Gambar 4.3. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 3.....	20
Gambar 4.4. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 4.....	21
Gambar 4.5. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 5.....	22
Gambar 4.6. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 semua lapangan penyinaran	25
Gambar 4.7. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 1.....	27
Gambar 4.8. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 2.....	28

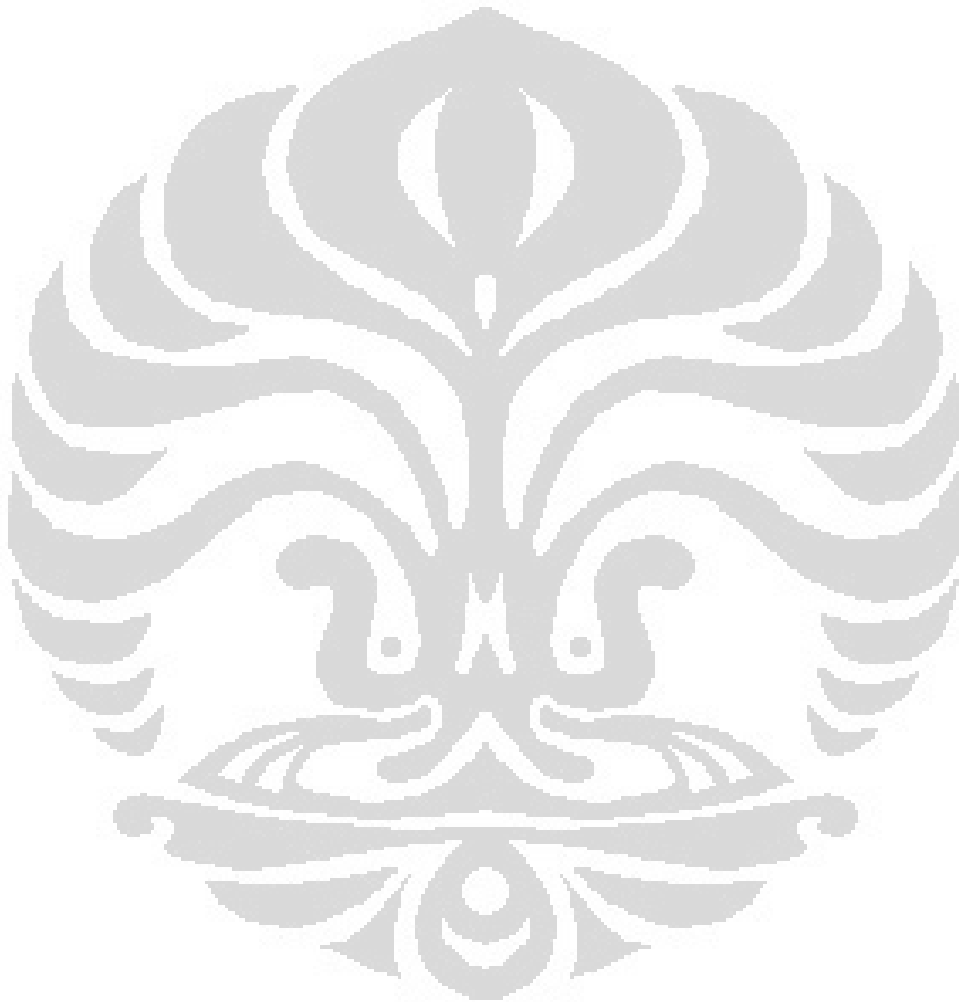
Gambar 4.9. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 3	29
Gambar 4.10. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 4	30
Gambar 4.11 Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 5	31
Gambar 4.12. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 semua lapangan penyinaran	34
Gambar 4.13. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 1	36
Gambar 4.14. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 2	37
Gambar 4.15. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 3	38
Gambar 4.16. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 4	39
Gambar 4.17. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 5	40
Gambar 4.18. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 semua lapangan penyinaran	43
Gambar 4.19. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 4 akumulasi semua lapangan penyinaran	45
Gambar 4.20. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 5 akumulasi semua lapangan penyinaran	47

gambar 4.21. Estimasi skenario posisi detektor pada
verifikasi penyinaran IMRT 49



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 1 pada setiap lapangan penyinaran.....	23
Tabel 4.2. Hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 2 pada setiap lapangan penyinaran.....	32
Tabel 4.3. Hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 3 pada setiap lapangan penyinaran.....	41



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Histogram pasien 1 lapangan penyinaran 1	52
Lampiran 2 Histogram pasien 1 lapangan penyinaran 2	53
Lampiran 3 Histogram pasien 1 lapangan penyinaran 3	54
Lampiran 4 Histogram pasien 1 lapangan penyinaran 4	55
Lampiran 5 Histogram pasien 1 lapangan penyinaran 5	56
Lampiran 6 Histogram pasien 1 semua lapangan penyinaran	57
Lampiran 7 Histogram pasien 2 lapangan penyinaran 1	58
Lampiran 8 Histogram pasien 2 lapangan penyinaran 2	59
Lampiran 9 Histogram pasien 2 lapangan penyinaran 3	60
Lampiran 10 Histogram pasien 2 lapangan penyinaran 4	61
Lampiran 11 Histogram pasien 2 lapangan penyinaran 5	62
Lampiran 12 Histogram pasien 2 semua lapangan penyinaran	63
Lampiran 13 Histogram pasien 3 lapangan penyinaran 1	64
Lampiran 14 Histogram pasien 3 lapangan penyinaran 2	65
Lampiran 15 Histogram pasien 3 lapangan penyinaran 3	66
Lampiran 16 Histogram pasien 3 lapangan penyinaran 4	67
Lampiran 17 Histogram pasien 3 lapangan penyinaran 5	68
Lampiran 18 Histogram pasien 3 semua lapangan penyinaran	68
Lampiran 19 Histogram pasien 4	70
Lampiran 19 Histogram pasien 5	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Terapi radiasi untuk membunuh sel – sel kanker menggunakan radiasi pengion dapat menimbulkan gangguan biologis pada jaringan sehat. Oleh karena itu, dalam setiap terapi radiasi pengion harus di rencanakan dan dilaksanakan secara baik, sehingga diperoleh hasil terapi maksimal.

Untuk membuat pendosisan yang akurat antara hasil perhitungan dosis menggunakan *Treatment Planning System* (TPS) dan dilapangan dengan menggunakan *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) harus dilakukan verifikasi.

IMRT adalah membuat sebuah konsep yang tadinya kita membuat perencanaan berkas radiasi dari beberapa lapangan dan dapat dihitung distribusi dosisnya dibalik menjadi kita menentukan terlebih dahulu dosis target dan *organ at risk* (OAR)-nya kemudian dihitung balik berapakah intensitas radiasi yang harus diberikan pada masing-masing segmen target radiasi.

1.2. Perumusan masalah

Dalam penelitian ini merupakan verifikasi penyinaran IMRT antara TPS dengan di lapangan diperoleh distribusi dosis yang sama.

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah memverifikasi distribusi dosis dari TPS dengan ditribusi dosis di lapangan menggunakan MatriXX Evolution.

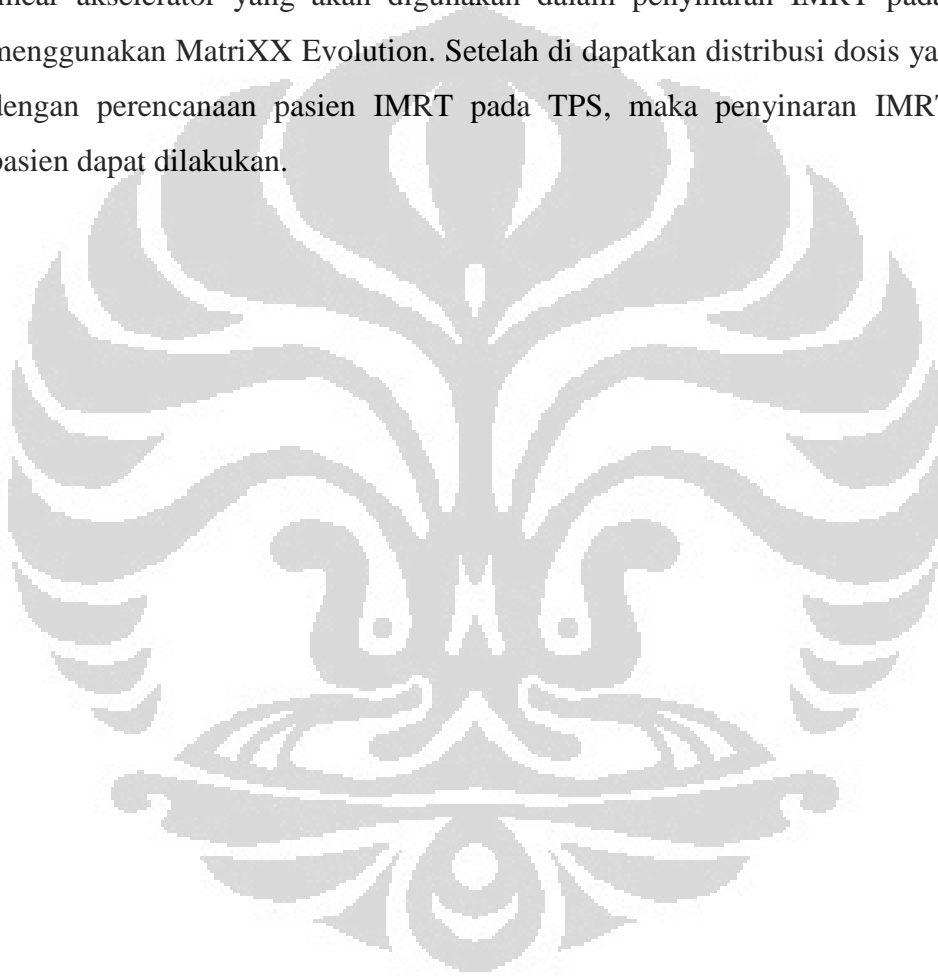
1.4. Batasan masalah

Penelitian ini hanya difokuskan pada verifikasi penyinaran IMRT menggunakan MatriXX Evolution.

1.5.Sistematika penelitian

Penelitian ini merupakan verifikasi pemberian dosis pada pasien penyinaran IMRT, dimana verifikasi tersebut menggunakan MatriXX Evolution. Setelah pasien di lakukan perencanaan penyinaran pada TPS, selanjutnya di buat TPS untuk verifikasi dengan obyek pasien di ganti dengan MatriXX Evoution yang berorientasi keposisi plannar.

Setelah TPS verifikasi selesai suakukan penyinaran menggunakan pesawat linear akselerator yang akan digunakan dalam penyinaran IMRT pada pasien menggunakan MatriXX Evolution. Setelah di dapatkan distribusi dosis yang sama dengan perencanaan pasien IMRT pada TPS, maka penyinaran IMRT untuk pasien dapat dilakukan.



BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)*

IMRT merupakan salah satu teknik radioterapi yang modern dengan menggunakan pesawat linear akselerator yang dikendalikan komputer untuk memberikan dosis maksimal pada organ target kanker dan memberikan dosis seminimal mungkin pada organ sehat. Pada penyinaran menggunakan IMRT menggunakan banyak lapangan radiasi yang mempunyai intensitas radiasi yang berbeda – beda, untuk menghasilkan distribusi dosis yang optimal pada organ target kanker. Untuk mendapat intensitas radiasi yang berbeda – beda pada pesawat linear akselerator, digunakan MLC (*Multi Leaf Collimator*) yang membentuk lapangan penyinaran sesuai organ target.

Dalam hal IMRT ini berkas dari linac dilewatkan dalam suatu MLC. MLC adalah suatu kolimator yang terdiri dari beberapa bidang kolimator yang dapat dikendalikan dengan sebuah program komputer sehingga menghasilkan intensitas yang termodulasi. Pada metode *Step-and-Shoot MLC*, dosis radiasi diberikan pada saat MLC tidak bergerak (*static*), dan MLC akan bergerak membentuk kolimasi sesuai perencanaan terapi ketika radiasi berhenti. Metode ini dilakukan untuk penyinaran sederhana, dengan menggunakan pengaturan *monitor unit* yang kecil. Metode *dynamic MLC* merupakan alternatif untuk metode *Step-and-Shoot MLC*, dimana MLC bergerak saat penyinaran sehingga di dapat intensitas radiasi yang lebih halus dengan membutuhkan *monitor unit* yang lebih besar sehingga waktu penyinaran radiasi lebih singkat.[1]



Gambar 2.1 *Multileaf Colimator (MLC)*

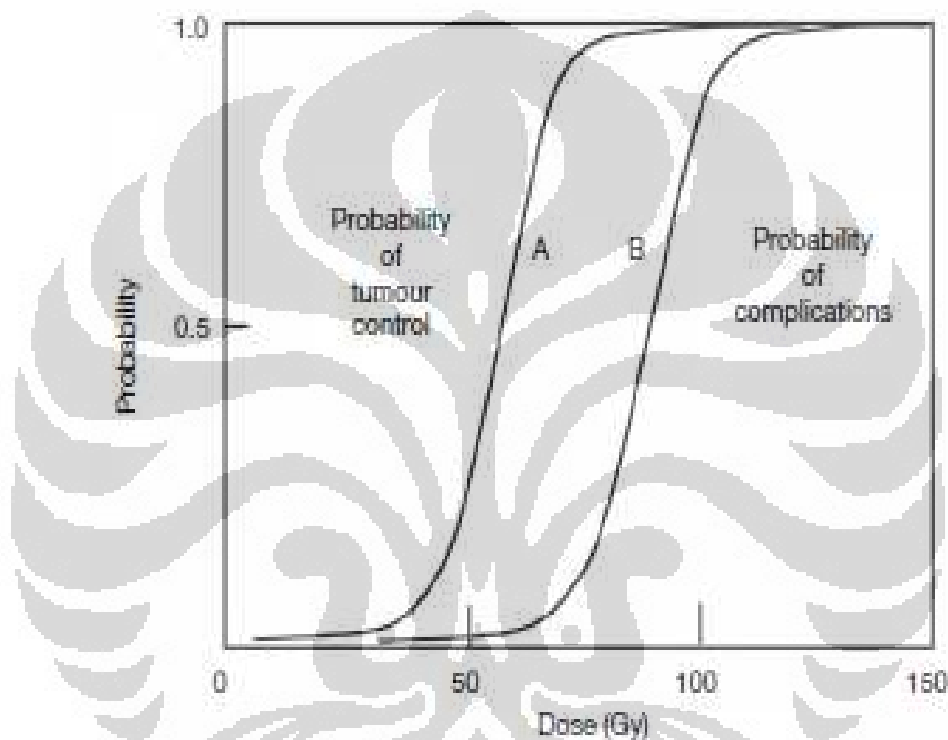
2.2. Perencanaan radioterapi

Komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak TPS digunakan untuk perencanaan radioterapi untuk mengetahui distribusi dosis yang akan diterima sebelum dilakukan penyinaran pada pasien. Sebelum dilakukan perencanaan terlebih dahulu diambil data citra CT scan pasien dan memastikan posisi pasien selalu sama pada setiap penyinaran radioterapi dilakukan, selanjutnya citra CT scan pasien digambar target tumor dan organ beresiko disekitarnya. Dengan TPS akan diperoleh ketepatan penggambaran target, organ beresiko, dan jumlah dosis yang akan diberikan pada penyinaran radioterapi ke pasien.

2.3. *Treatment Planning System (TPS)*

Treatment Planning System (TPS) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengetahui distribusi dosis radiasi pada perencanaan radioterapi eksternal yang akan diberikan kepada pasien. Tujuan dibuat perencanaan adalah untuk memaksimalkan dosis pada tumor (organ bermasalah) dan meminimalkan dosis pada jaringan sehat.[2] Dalam TPS perencanaan penyinaran dilakukan berdasarkan parameter; pengaturan energi radiasi yang di gunakan, jumlah berkas lapangan radiasi, arah penyinaran, luas lapangan penyinaran yang digunakan, aksesoris yang digunakan, dan hasil perhitungan *monitor unit (MU)* penyinaran.

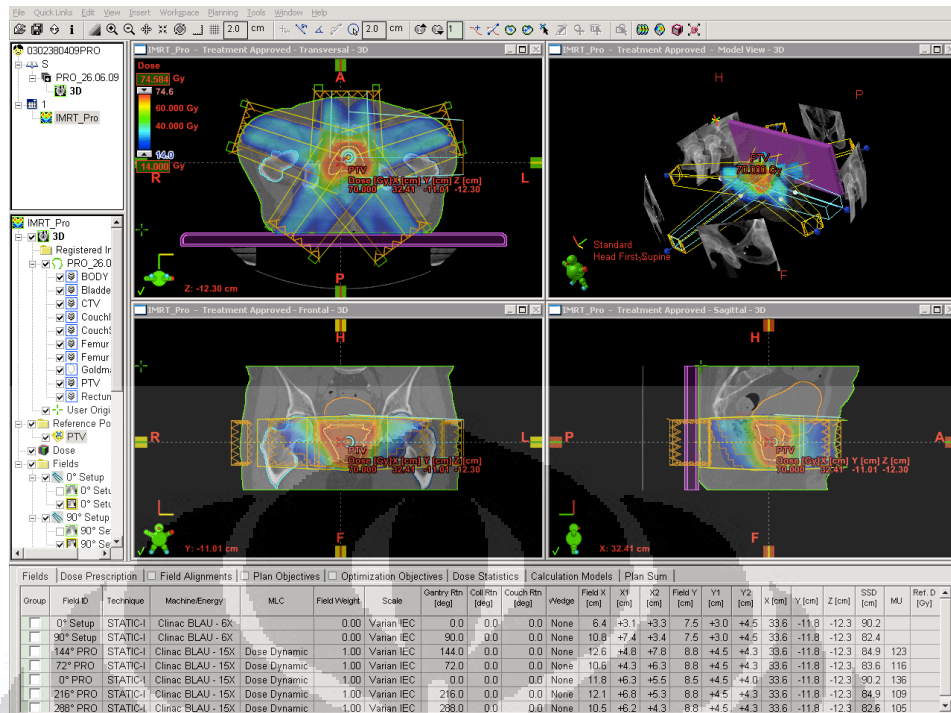
Untuk mendapatkan perencanaan penyinaran pada TPS yang akurat dan benar, dengan menggunakan hasil pencitraan dari target tumor dan organ sehat yang didapatkan dengan menggunakan CT scan. Keakuratan pada TPS diperoleh dengan berbagai optimisasi. Optimisasi dilakukan dalam rangka mendapatkan intensitas radiasi yang heterogen sehingga mendapatkan distribusi dosis untuk target tumor yang maksimal. TPS dibuat secara individual untuk masing – masing pasien yang akan diterapi dengan radiasi



Gambar 2.2. Prinsip rasio terapeutik.

Kurva A merupakan probabilitas efek radiasi pada tumor. Kurva B merupakan probabilitas efek radiasi pada jaringan sehat. [2]

Metode *invers planning* pada IMRT dilakukan dengan menentukan jumlah dan arah penyinaran. Selanjutnya dimasukkan batasan dosis pada target tumor dan pada organ beresiko pada sekitarnya dan yang terkena pada proses penyinaran untuk mendapatkan distribusi dosis yang maksimal pada organ target tumor.



Gambar 2.3. Perencanaan penyinaran IMRT

2.4. Perangkat *MatriXX Evolution* dan *MULTICube*

Perangkat *matriXX evolution* terdiri dari 1020 deretan detektor ionisasi chamber, yang diatur pada grid 32 x 32 dengan daerah aktif 24 x 24 cm². Saat terkena radiasi, udara yang terdapat pada chamber akan mengalami ionisasi. Muatan yang terlepas dipisahkan oleh bidang elektrik antara dasar dan puncak elektroda. Yang mana proporsional pada laju dosis, yang di ukur dan di digitalisasikan oleh *non multiplexed 1020 channel*, untuk dirubah dari analog ke digital. Data hasil pengukuran akan di transmisikan ke komputer melalui *Ethernet interface* yang tersedia pada semua komputer.

Volume masing masing ionisasi chamber 0,08 cm³ (dengan diameter 4,5 mm dan tinggi 5 mm), jarak antara chamber 7,619 mm, waktu minimum sampling diperoleh 20 ms, titik pengukuran efektif berada pada 3,5 mm dibawah permukaan *matriXX evolution* ditandai dengan marker yang berada pada samping alat. Respon laju dosis minimal 0,02 Gy/min dan maksimal 20 Gy/min. Perangkat lunak komputer yang digunakan untuk perhitungan data yaitu *OmniPro IMRT*.

MULTICube merupakan *Plastic Water® phanthom* yang di gunakan dalam verifikasi penyinaran IMRT menggunakan *MatriXX Evolution*.MULTICube mempunyai ukuran 31 cm x 34 cm x 22 cm.



(a)



(b)

Gambar 2.4. MatriXX Evolution (a) MULTICube (b) [5]

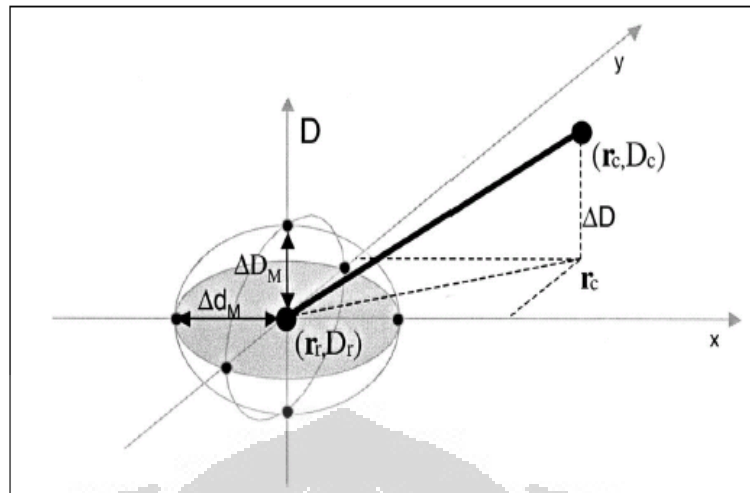
2.6. Verifikasi penyinaran IMRT

Pada penyinaran IMRT yang menggunakan cara memodulasi intensitas radiasi yang diatur dengan pergerakan MLC yang menyesuaikan dengan organ target tumor menurut perencanaan TPS untuk menghasilkan distribusi dosis pada organ target tumor yang optimal. Sebelum penyinaran IMRT dilakukan kepada pasien, membutuhkan verifikasi dua dimensi, verifikasi ini untuk mengetahui kesesuaian pengiriman dosis dari perhitungan pada TPS dan pengukuran yang terukur pada suatu sistem dosimetri. Sistem dosimetri yang dipakai pada verifikasi penyinaran IMRT meliputi; *ionisation chambers, radiographics films, radiochromic films, computed radiography, two – dimentional arrays, EPIDs, gel dosimeters.*

Evaluasi hasil verifikasi IMRT dengan analisa kuantitatif, dengan membandingkan distribusi dosis pada perhitungan TPS dengan distribusi dosis pada pengukuran yang akan menghasilkan nilai kesesuaian piksel dengan kriteria nilai gamma. Nilai gamma yang dihasilkan menggunakan kombinasi 2 parameter, yaitu *dose difference (DD)* dan *dose to agreement (DTA)*.

Dose difference yaitu parameter untuk penentuan nilai gamma yang merupakan perbedaan dosis yang diperbolehkan pada titik pengukuran terhadap titik perhitungan. *Dose to agreement (DTA)* yaitu parameter untuk penentuan nilai gamma yang merupakan jarak antara referensi titik data dan titik terdekat pada perbandingan distribusi dosis yang menunjukkan dosis yang sama.

Metode gamma di disain untuk perbandingan dua distribusi dosis: pertama didefinisikan sebagai informasi referensi ($D_r(r)$) dan satunya lagi sebagai hasil evaluasi ($D_c(r)$). Gambar 2.6 memperlihatkan skema dari gamma analisis untuk dua dimensi evaluasi distribusi dosis. Kriteria yang diterima dilambangkan dengan ΔD_M untuk *dose difference* dan Δd_M adalah sebagai jarak yang cocok. Untuk titik referensi pada posisi r_r dan dosis yang diterima D_r pada permukaan memperlihatkan kriteria yang diterima pada elips ditentukan dengan rumus dibawah ini.



Gambar 2.5 Skema konsep teori metode evaluasi gamma [12]

$$1 = \sqrt{\frac{\Delta r^2}{\Delta d_M^2} + \frac{\Delta D^2}{\Delta D_M^2}}$$

Dimana,

$$\Delta r = |r_r - r_c|$$

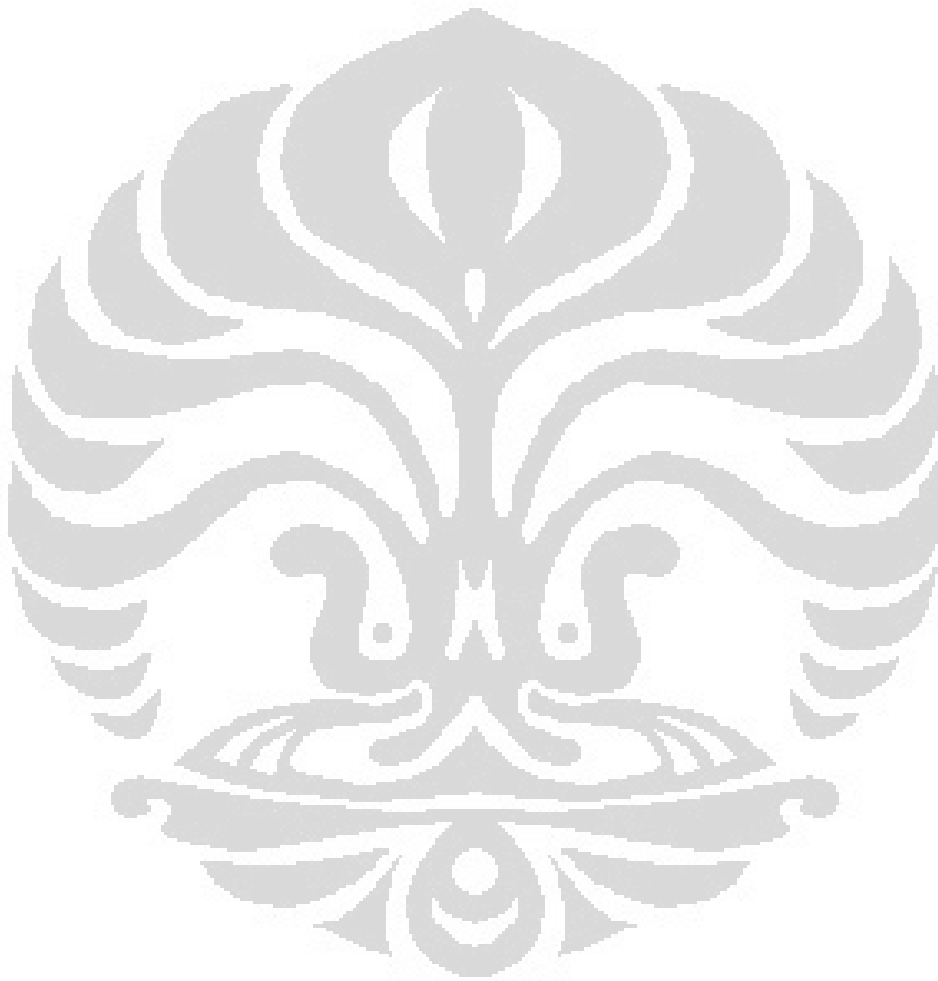
Δr adalah jarak antara titik referensi dengan pembanding

$$\Delta D = D_c(r_c) - D_r(r_r)$$

ΔD adalah perbedaan dosis pada posisi relatif r_r untuk referensi dosis D_r di r_r . Untuk perbandingan distribusi guna mencocokkan dosis referensi dalam r_r , ini memerlukan paling tidak satu titik (r_c, D_c) dengan daerah elip misalkan satu titik yang mana :

$$\Gamma_r(r_c, D_c) = \sqrt{\frac{\Delta r^2}{\Delta d_M^2} + \frac{\Delta D^2}{\Delta D_M^2}} \leq 1$$

Pengukuran kuantitatif dari keakuratan yang berhubungan ditentukan oleh titik dengan penyimpangan terkecil dari titik referensi misalkan titik yang mana $\Gamma_r(r_c, D_c)$ adalah minimal. Nilai minimal disebut sebagai indek kualiti $\gamma(r_r)$ dari titik referensi. $\gamma(r_r) \leq 1$ disebut cocok dengan kriteria sedangkan $\gamma(r_r) > 1$ tidak cocok tidak dengan kriteria. Pada pelaksanaan verifikasi penyinaran IMRT, menurut ESTRO booklet no.9 tentang *Guidelines for the Verification of IMRT* nilai toleransi kesesuaian piksel yang diijinkan yaitu 90 %.[7]



BAB III

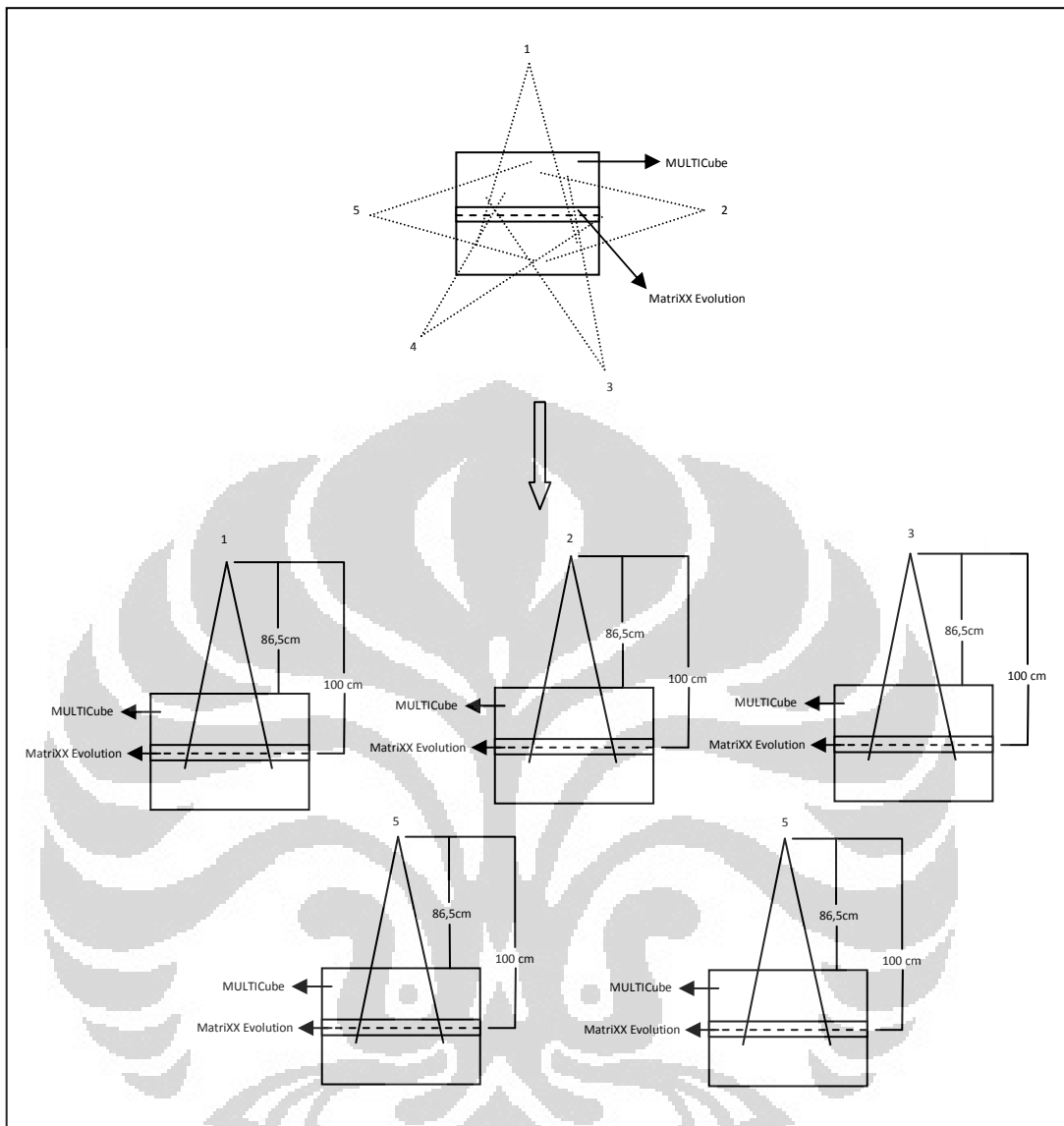
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Bagian Radioterapi Rumah Sakit MRCCC Jakarta. Menggunakan pesawat linear akselerator yang sudah terkalibrasi. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu; tahap pertama membuat acuan perencanaan verifikasi penyinaran IMRT pada TPS, tahap kedua melakukan paparan radiasi pada MatriXX Evolution yang sudah dipasangkan pada MULTICube, dan tahap ke empat menganalisa menggunakan perangkat lunak OmniPro IMRT.

3.1. Acuan perencanaan

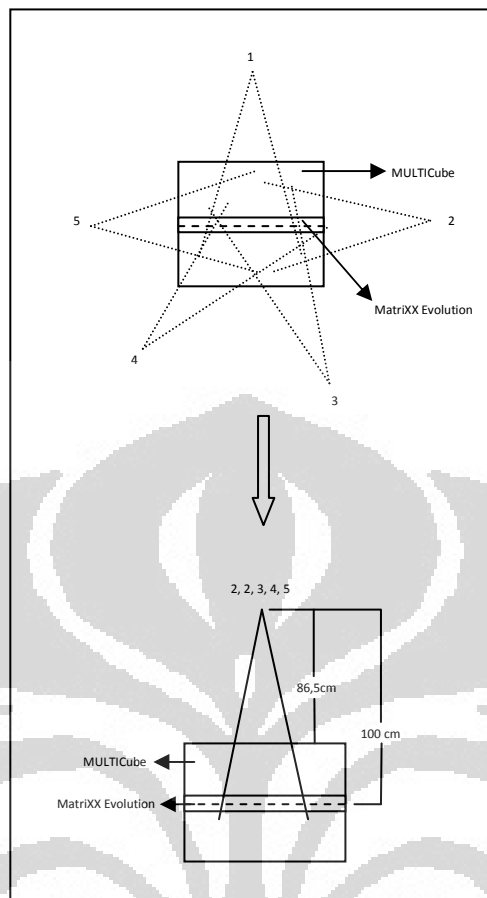
Pada penelitian ini, dilakukan verifikasi pada 5 pasien penyinaran dengan IMRT. 3 pasien dilakukan verifikasi pada setiap lapangan penyinaran dan akumulasi lapangan penyinaran, sedangkan 2 pasien hanya dilakukan verifikasi akumulasi penyinaran.

Verifikasi pada setiap lapangan penyinaran IMRT, dimasukkan parameter penyinaran IMRT pasien yang telah dihitung pada TPS ke citra MatriXX Evolution yang terpasang pada MULTICube pada TPS, data citra tersebut diperoleh dari data CT scan MatriXX Evolution yang terpasang pada MULTICube. Setelah itu, untuk setiap lapangan penyinaran dilakukan normalisasi pada kedalaman 13,5 cm, dengan SSD 86,5 cm dan perhitungan ulang pada arah penyinaran 0° tanpa merubah fluence mapnya.[5]



Gambar 3.1. Perubahan arah penyinaran pada verifikasi IMRT pada setiap lapangan penyinaran

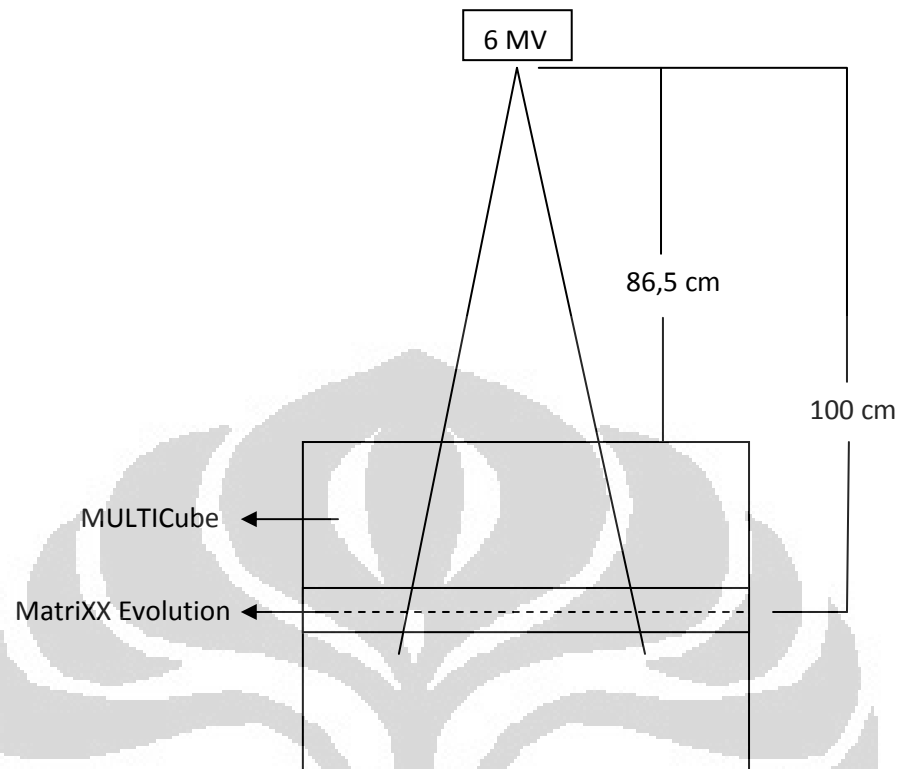
Verifikasi pada akumulasi penyinaran IMRT, dimasukkan parameter penyinaran IMRT pasien yang telah dihitung pada TPS ke citra MatriXX Evolution yang terpasang pada MULTICube pada TPS, data citra tersebut diperoleh dari data CT scan MatriXX Evolution yang terpasang pada MULTICube. Setelah itu, untuk setiap lapangan penyinaran dilakukan normalisasi pada kedalaman 13,5 cm, dengan SSD 86,5 cm dan perhitungan ulang pada arah penyinaran 0° tanpa merubah fluence mapnya.



Gambar 3.2 Perubahan arah penyinaran pada verifikasi IMRT pada akumulasi lapangan penyinaran

3.2. Penyinaran radiasi pada MatriXX Evolution

Penyinaran radiasi dilakukan sesuai dengan referensi perencanaan pada TPS. modalitas energi yang digunakan pada penelitian ini sinar X 6 MV. Penyinaran radiasi pada MatriXX Evolution ini dilakukan setelah dilakukan perencanaan diatas. Pada MULTICube dipasang MatriXX Evolution yang telah terkalibrasi diletakkan di atas meja pesawat terapi yang telah dihubungkan ke komputer yang terdapat perangkat lunak OmniPro I'mRT, kemudian MatriXX Evolution diposisikan pada posisi ON, kemudian diatur *crosshair* pesawat terapi pada pertengahan MULTICube. Diatur sudut gantri pesawat terapi pada 0° dan di atur SSD 86,5 cm.



Gambar 3.3. Penyinaran MatriXX Evolution

3.3. Analisa menggunakan perangkat lunak OmniPro I'mRT

setelah dilakukan penyinaran, hasil pengukuran akan muncul pada perangkat lunak OmniPro I'mRT yang kemudian di analisa kesesuaian pikselnya dengan membandingkan dari hasil perhitungan pada TPS dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % *Dose Difference* (DD) dan 2 mm *Distance to Agreement* (DTA).

3.4. Peralatan

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan, meliputi:

1. MULTICube

MULTICube ini merupakan phantom padat, dimana bentuknya sudah disesuaikan sehingga detektor matrixx evolution dapat dipasangkan.

2. MatriXX Evolution

Merupakan detektor ionisasi chamber yang berderet dengan jumlah detektor 1020 yang di atur pada 32 grid.

3. Varian Clinac iX

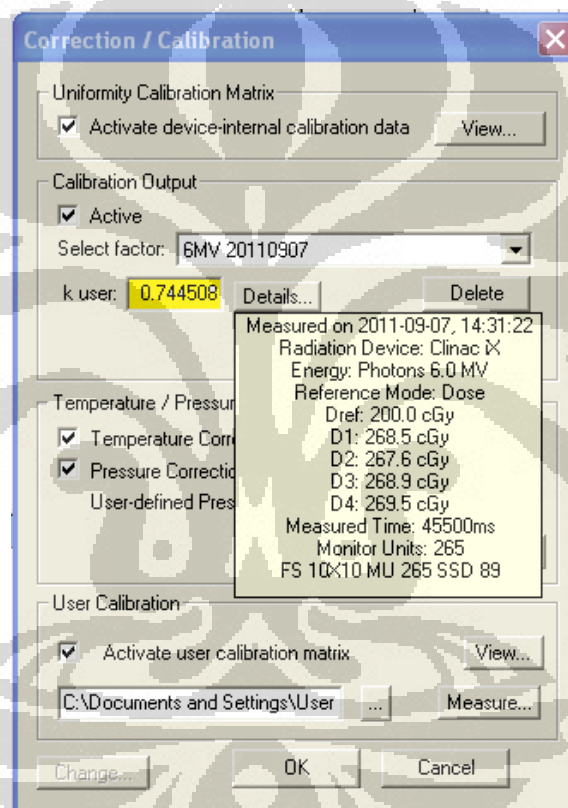
Merupakan pesawat teleterapi yang akan digunakan dalam penelitian ini, dengan menggunakan energi sinar X 6 MV.

4. Perangkat lunak komputer OmniPro I'mRT

Merupakan perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data setelah dilakukan penyinaran pada MatriXX Evolution.

5. Varian Eclipse TPS

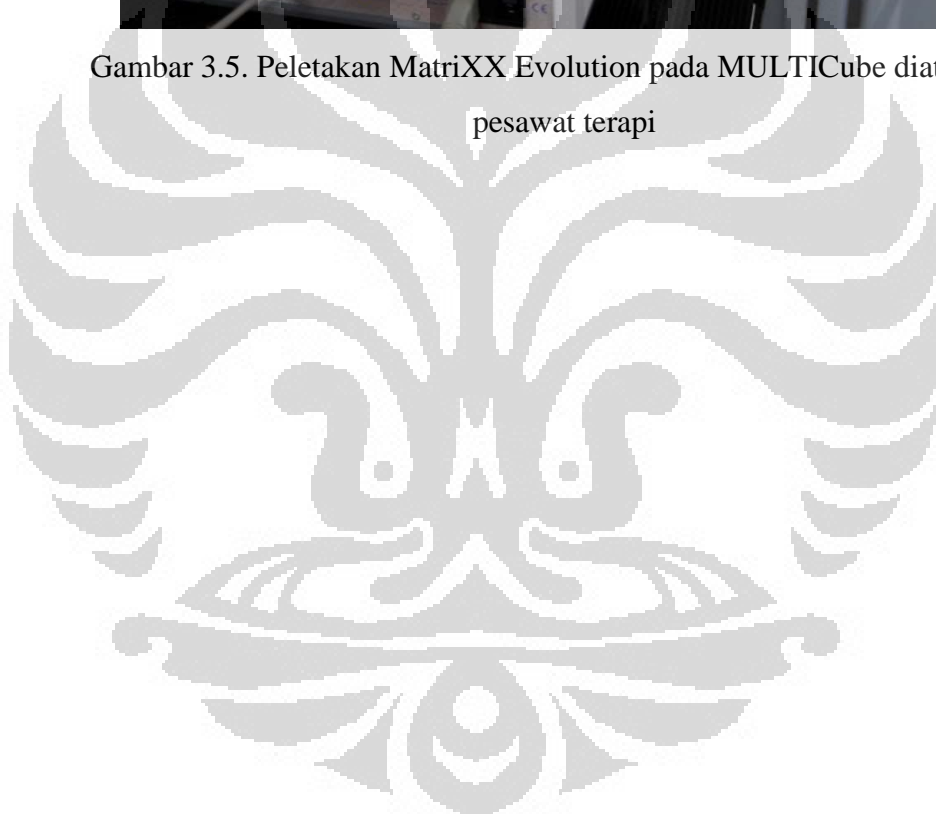
Merupakan perangkat lunak untuk membuat perencanaan penyinaran pasien IMRT.



Gambar 3.4. Kalibrasi MatriXX Evolution



Gambar 3.5. Peletakan MatriXX Evolution pada MULTICube diatas meja pesawat terapi



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada verifikasi penyinaran IMRT digunakan MatriXX Evolution yang merupakan detektor dua dimensi dengan jumlah detektor 1020 tersusun dalam bentuk matrix. Dalam penelitian ini telah dilakukan verifikasi penyinaran IMRT pada pasien dengan kasus *Glioblastoma Multiforme* (GBM) yang merupakan suatu jenis tumor pada otak. Jumlah pasien ada 5 pasien, dimana 3 pasien dilakukan verifikasi pada setiap lapangan penyinaran dan akumulasi lapangan penyinaran, 2 pasien lainnya dilakukan verifikasi dengan akumulasi lapangan penyinaran saja. Dengan dilakukannya verifikasi tersebut, akan di hasilkan distribusi dosis pada setiap lapangan penyinaran IMRT yang dilakukan proses verifikasi.

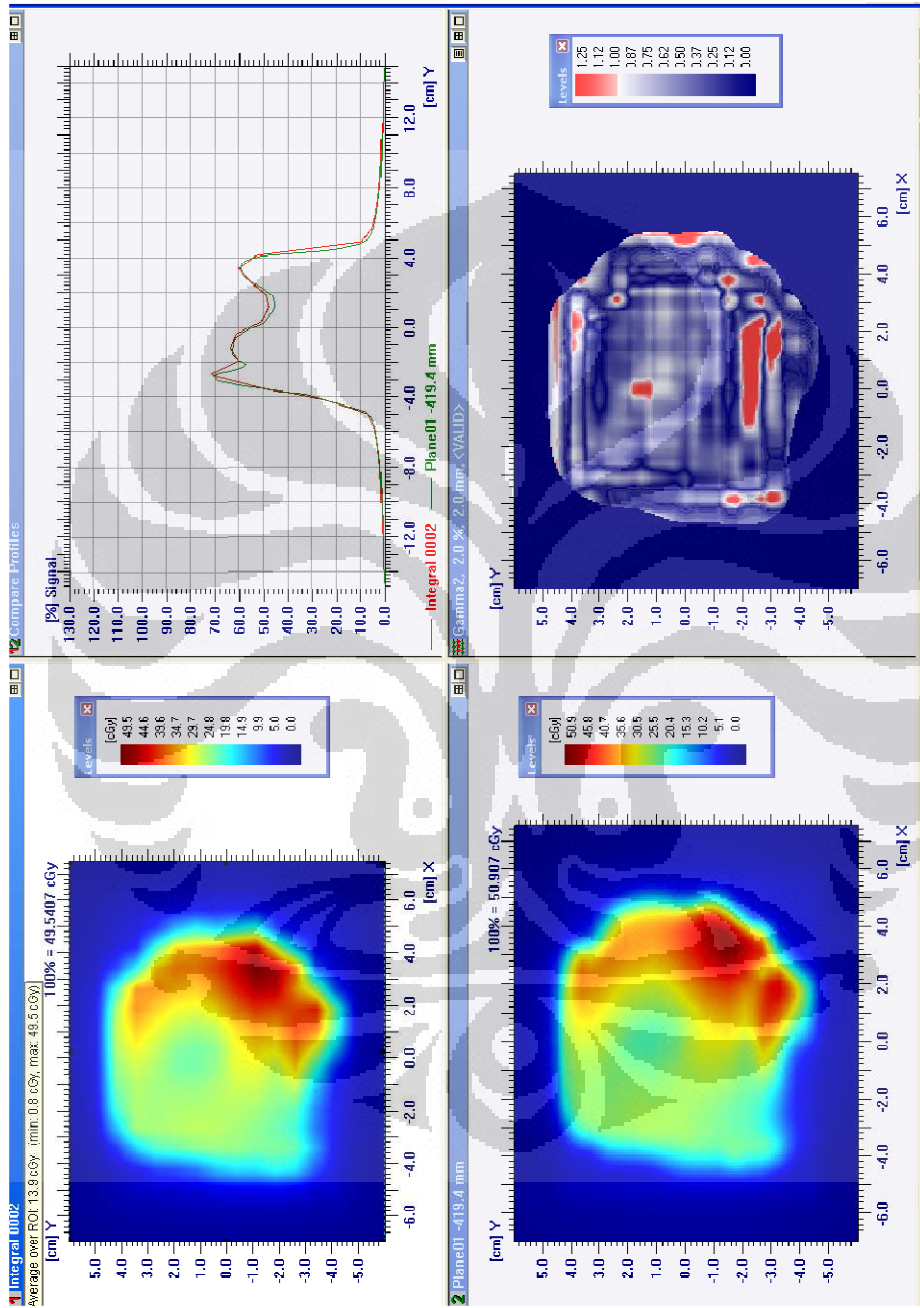
4.1. Verifikasi pada kasus pasien 1 “*Glioblastoma Multiforme*”

Telah dilakukan verifikasi penyinaran IMRT menggunakan MatriXX Evolution. Modalitas energi yang digunakan yaitu sinar X 6 MV, ada 5 lapangan penyinaran, SSD pada 86,5 cm dimana *crosshair* pesawat terapi berada pada pertengahan MULTICube. Pada penelitian ini verifikasi dilakukan tiap lapangan penyinaran dan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran.

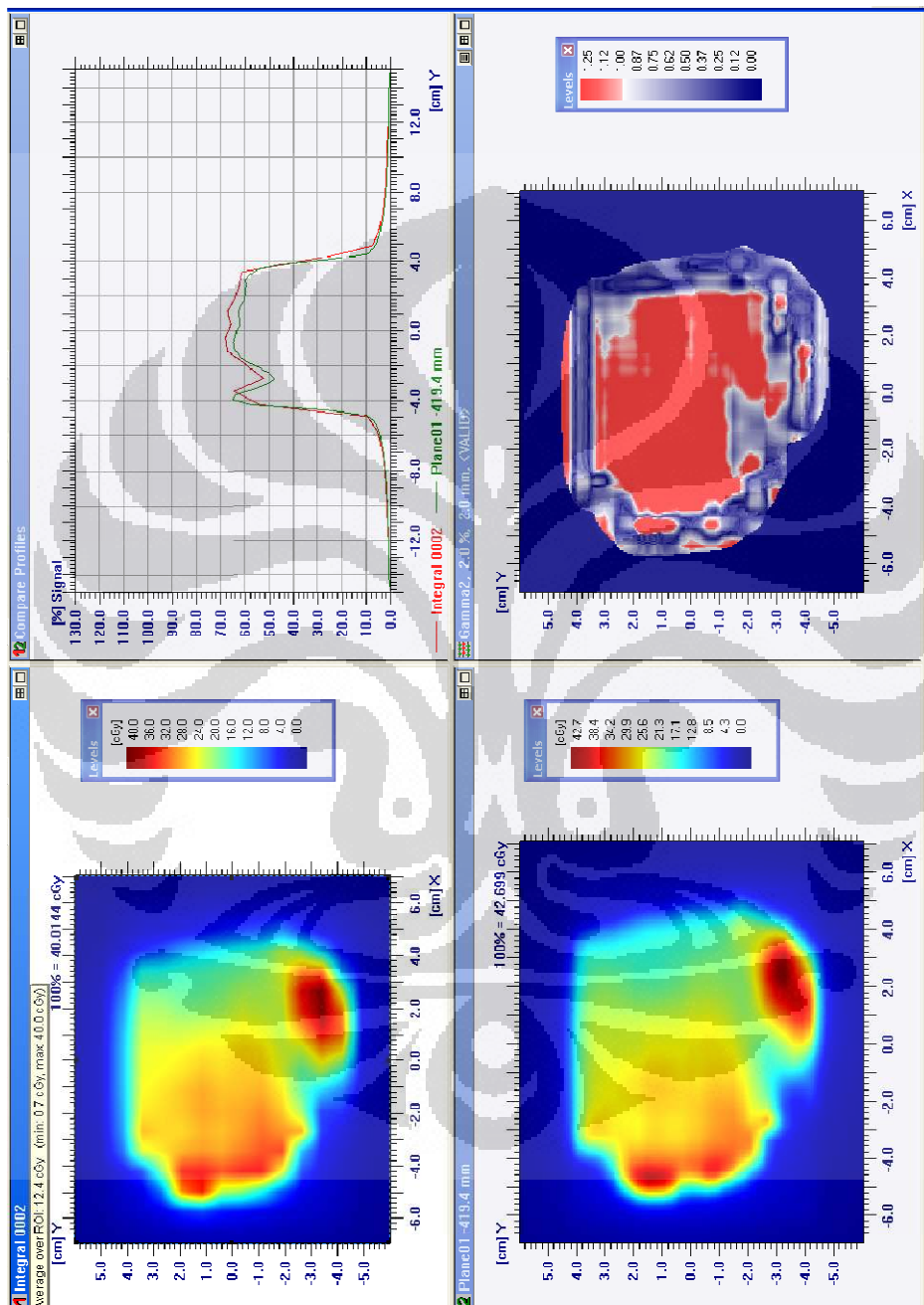
4.1.1. Verifikasi setiap lapangan penyinaran

Verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 1, dilakukan pengukuran pada setiap lapangan penyinaran untuk mendapatkan distribusi dosis pada setiap lapangan yang telah dihasilkan pada perhitungan perangkat lunak TPS dengan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution.

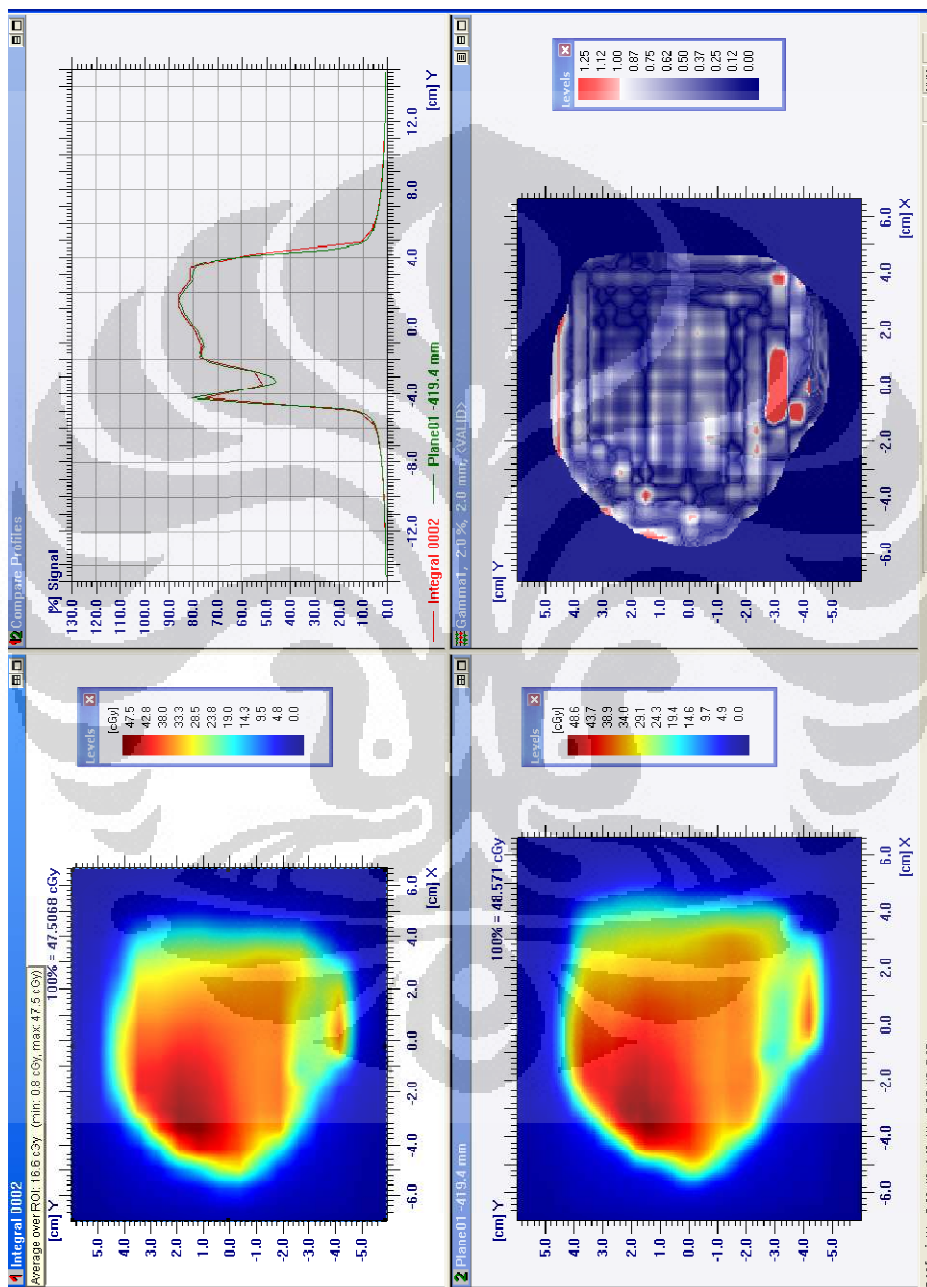
Setelah dilakukan penyinaran untuk setiap lapangan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



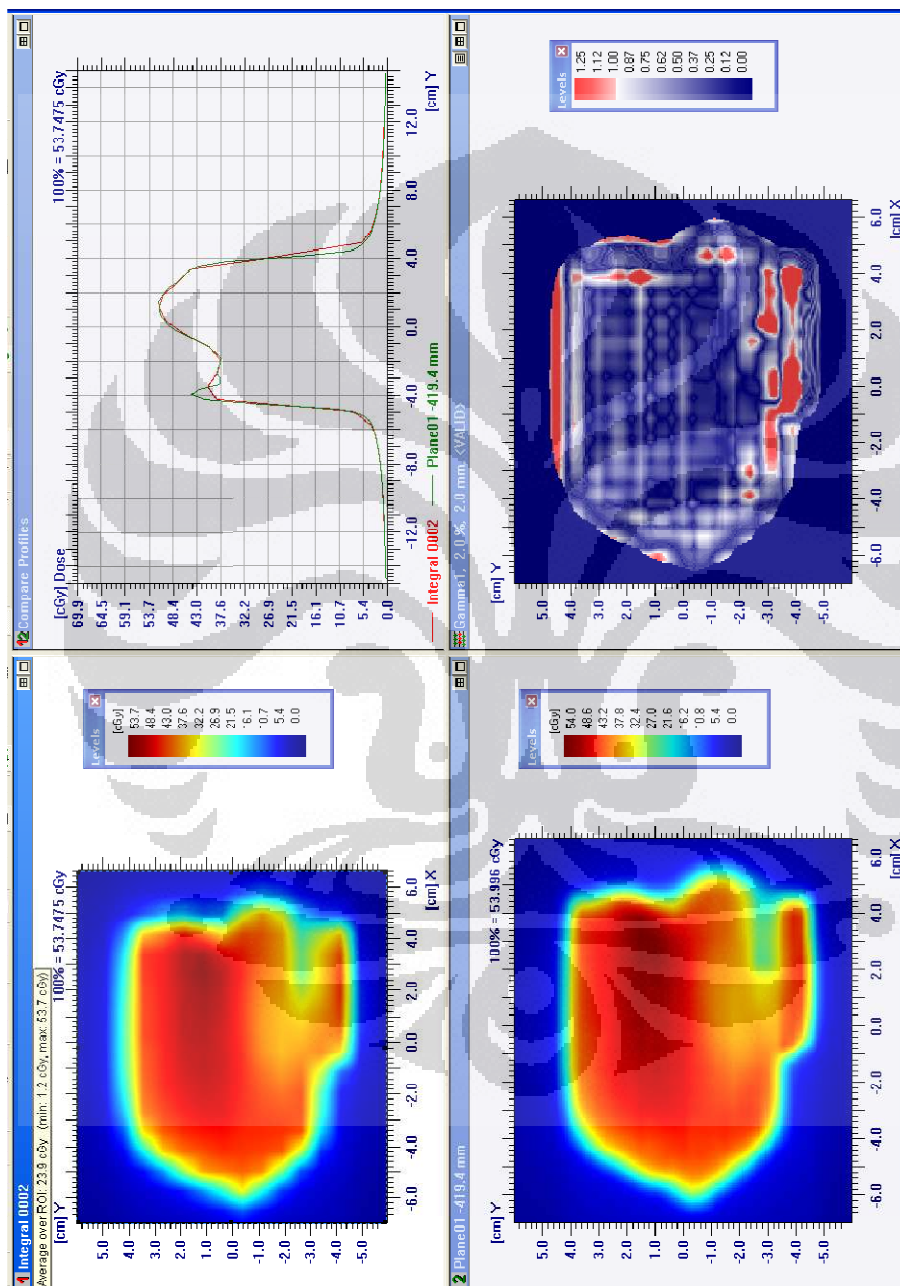
Gambar 4.1. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 1.



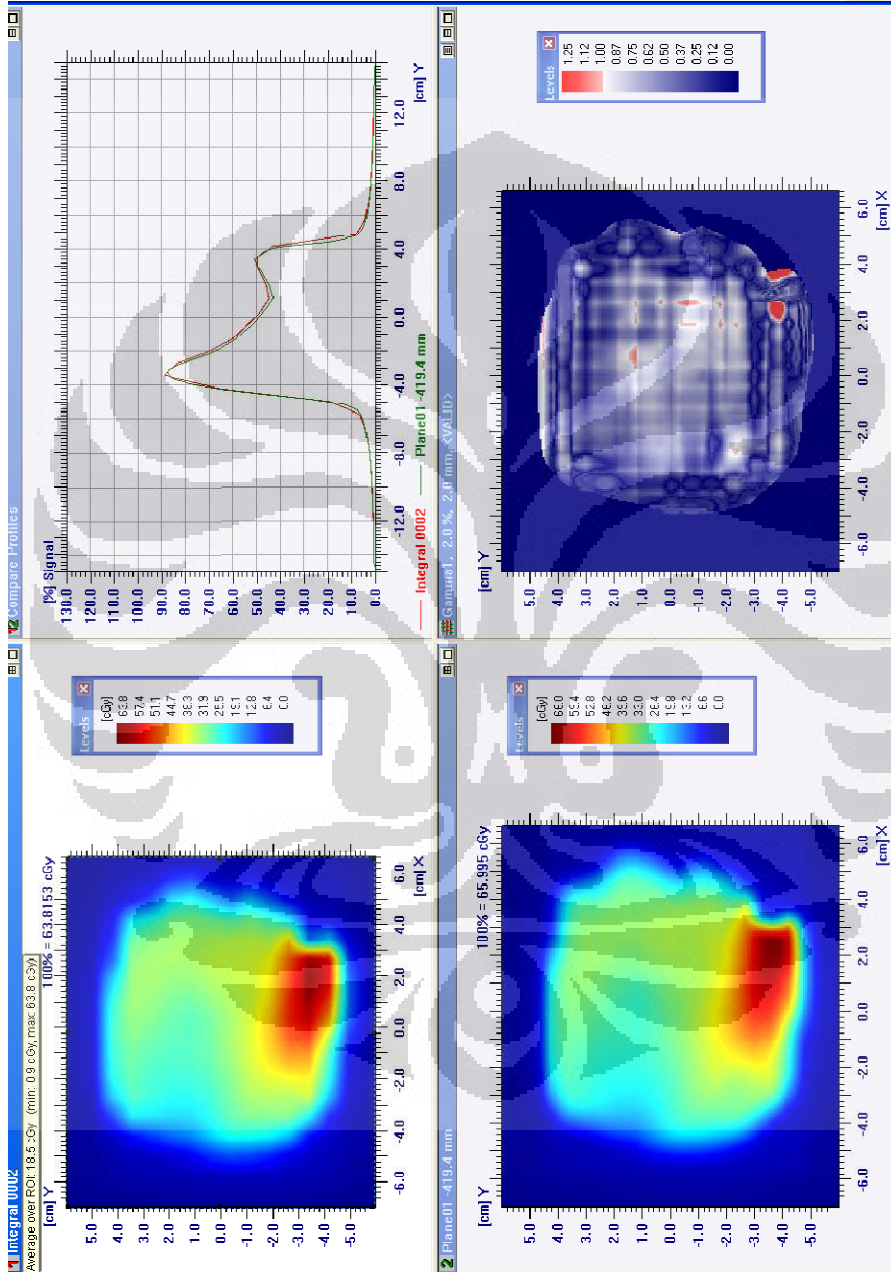
Gambar 4.2. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 2.



Gambar 4.3. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 3.



Gambar 4.4. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 4.



Gambar 4.5. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 5.

Dari gambar 4.1 sampai gambar 4.5 diatas merupakan hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 1 “*Glioblastoma Multiforme*”. Pada gambar tampak empat bagian citra yaitu distribusi dosis pengukuran dengan MatriXX Evolution pada bagian kanan atas, distribusi dosis perhitungan TPS pada bagian kanan bawah) kurva profil distribusi dosis gabungan antara pengukuran (merah) dan perhitungan TPS (hijau) pada bagian kiri atas, dan kesesuaian piksel dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD dan 2 mm DTA pada bagian kiri bawah. Dari gambar diatas diperoleh kesesuaian piksel pada setiap lapangan penyinaran yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 1 pada setiap lapangan penyinaran

Lapangan penyinaran	Kesesuaian piksel ($\gamma \leq 1$) Pada 2 % DD dan 2 mm DTA
1	99,38 %
2	95,47 %
3	99,63 %
4	98,89 %
5	99,86 %

Pada gambar 4.1 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 1 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99.38 % dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.2 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 2 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 95.47 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.3 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 3 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan

pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99.63 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

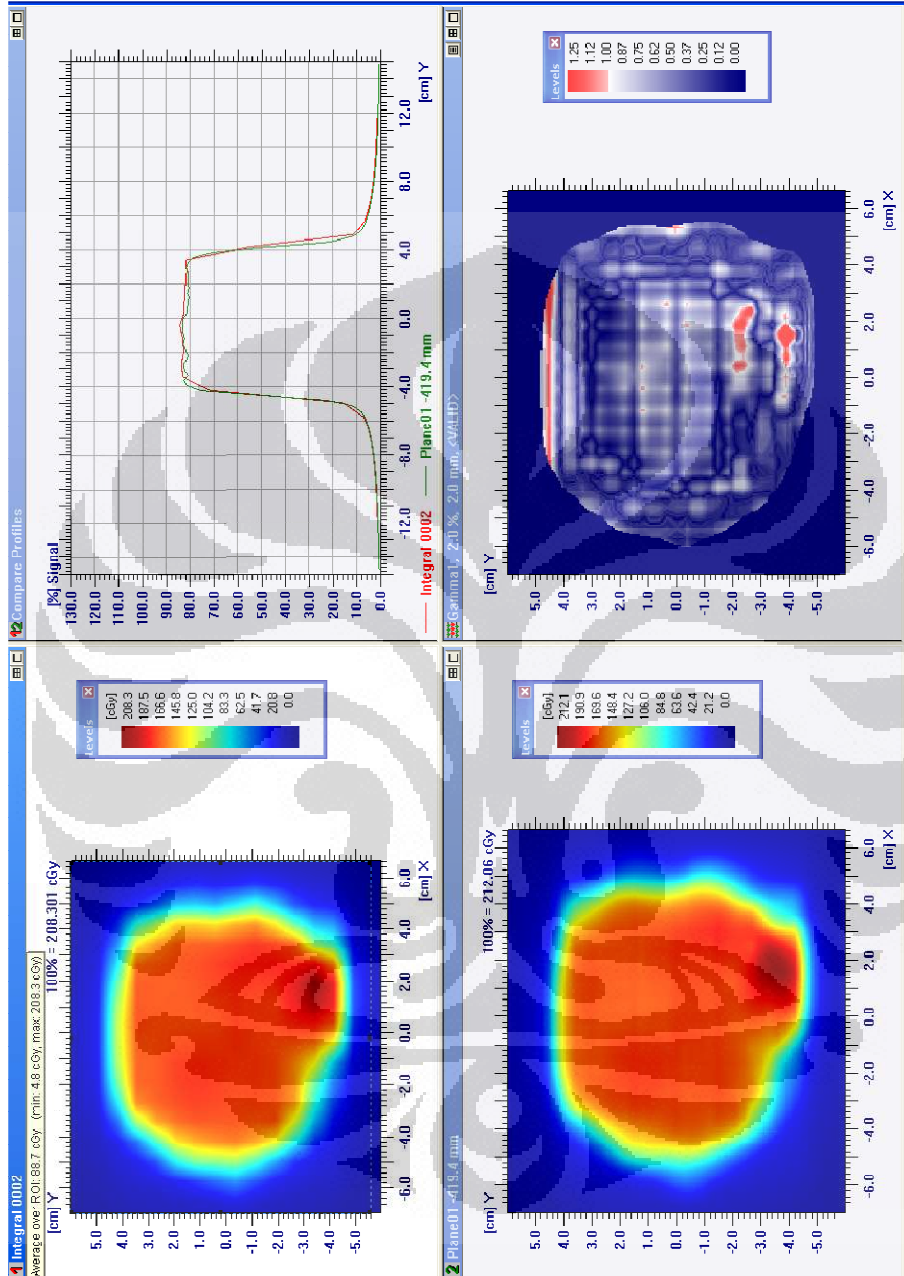
Pada gambar 4.4 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 4 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 98.98 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.5 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 1 lapangan penyinaran 5 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99.86 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

4.1.2. Verifikasi semua lapangan penyinaran

Verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 1, selain dilakukan verifikasi pada setiap lapangan penyinaran, juga dilakukan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran, yang merupakan gabungan dari setiap penyinaran yang akan menghasilkan distribusi dosis semua lapangan penyinaran yang telah dihasilkan pada perhitungan perangkat lunak TPS dengan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution.

Setelah dilakukan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



Gambar 4.6. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 1 semua lapangan penyinaran

Pada gambar 4.6. merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 1 untuk semua lapangan penyinaran pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99.64 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Dari hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 1, terdapat 5 lapangan penyinaran yang mempunyai distribusi dosis yang berbeda – beda untuk mendapatkan dosis yang optimal sesuai dengan bentuk organ target. Pada setiap lapangan penyinaran mempunyai distribusi dosis yang berbeda – beda pada setiap bagian karena menggunakan modulasi intensitas radiasi dengan pergerakan MLC. Pada verifikasi untuk semua lapangan gambaran distribusi dosis lebih homogen bila dibandingkan dengan verifikasi pada setiap lapangan karena merupakan akumulasi dosis dari 5 lapangan penyinaran.

Dari kesesuaian piksel yang dihasilkan, merupakan perbandingan dari perencanaan verifikasi pada TPS untuk setiap lapangan penyinaran. Pada verifikasi kasus pasien 1, nilai kesesuaian pixel yang paling rendah yaitu pada lapangan penyinaran 2 dimana nilainya 95.47 %.

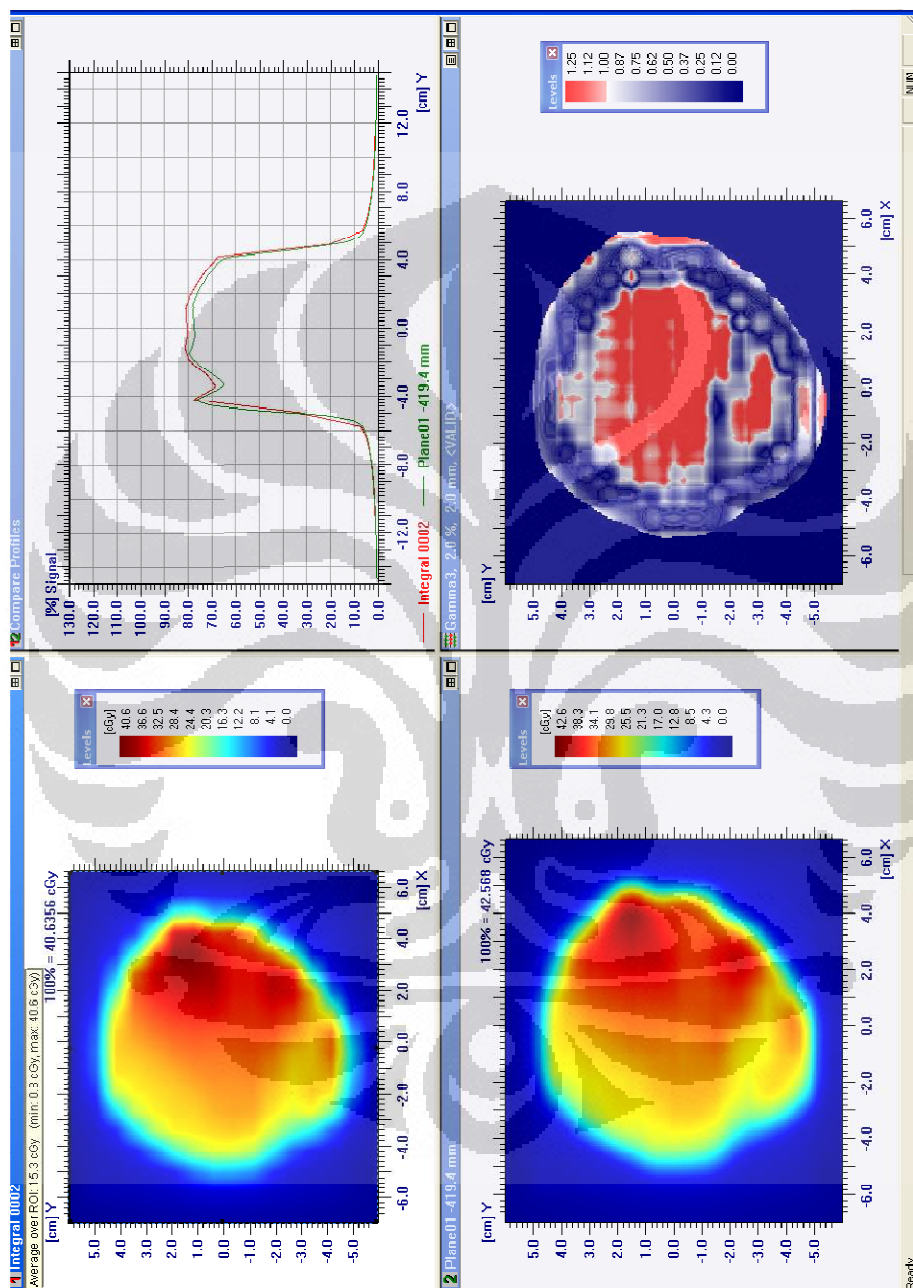
4.2. Verifikasi pada kasus pasien 2 “*Glioblastoma Multiforme*”

Telah dilakukan verifikasi penyinaran IMRT menggunakan MatriXX Evolution. Modalitas energi yang digunakan yaitu sinar X 6 MV, ada 5 lapangan penyinaran, SSD pada 86,5 cm dimana *crosshair* pesawat terapi berada pada pertengahan MULTICube. Pada penelitian ini verifikasi dilakukan tiap lapangan penyinaran dan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran.

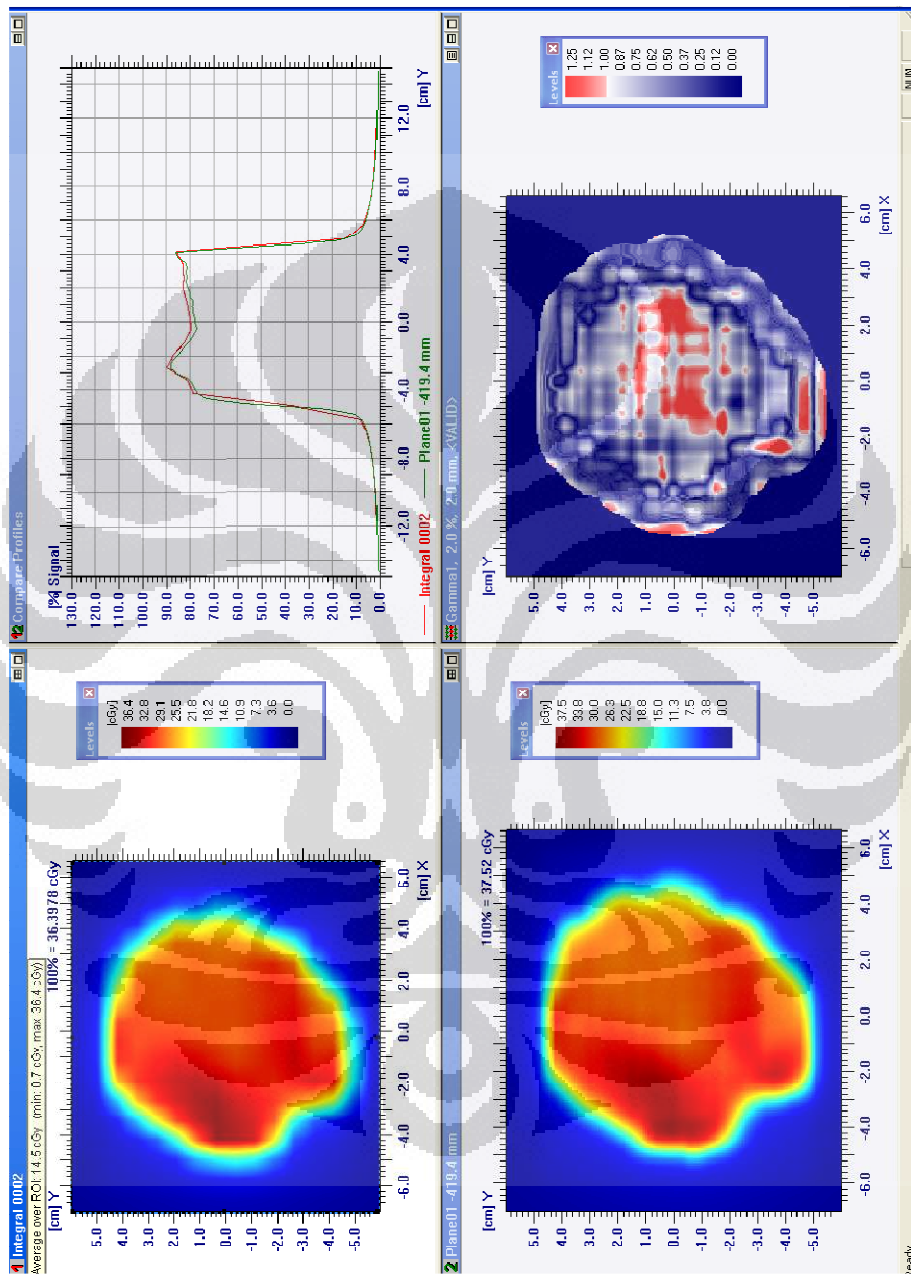
4.2.1. Verifikasi setiap lapangan penyinaran

Verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 2, dilakukan pengukuran pada setiap lapangan penyinaran untuk mendapatkan distribusi dosis pada setiap lapangan yang telah dihasilkan pada perhitungan perangkat lunak TPS dengan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution.

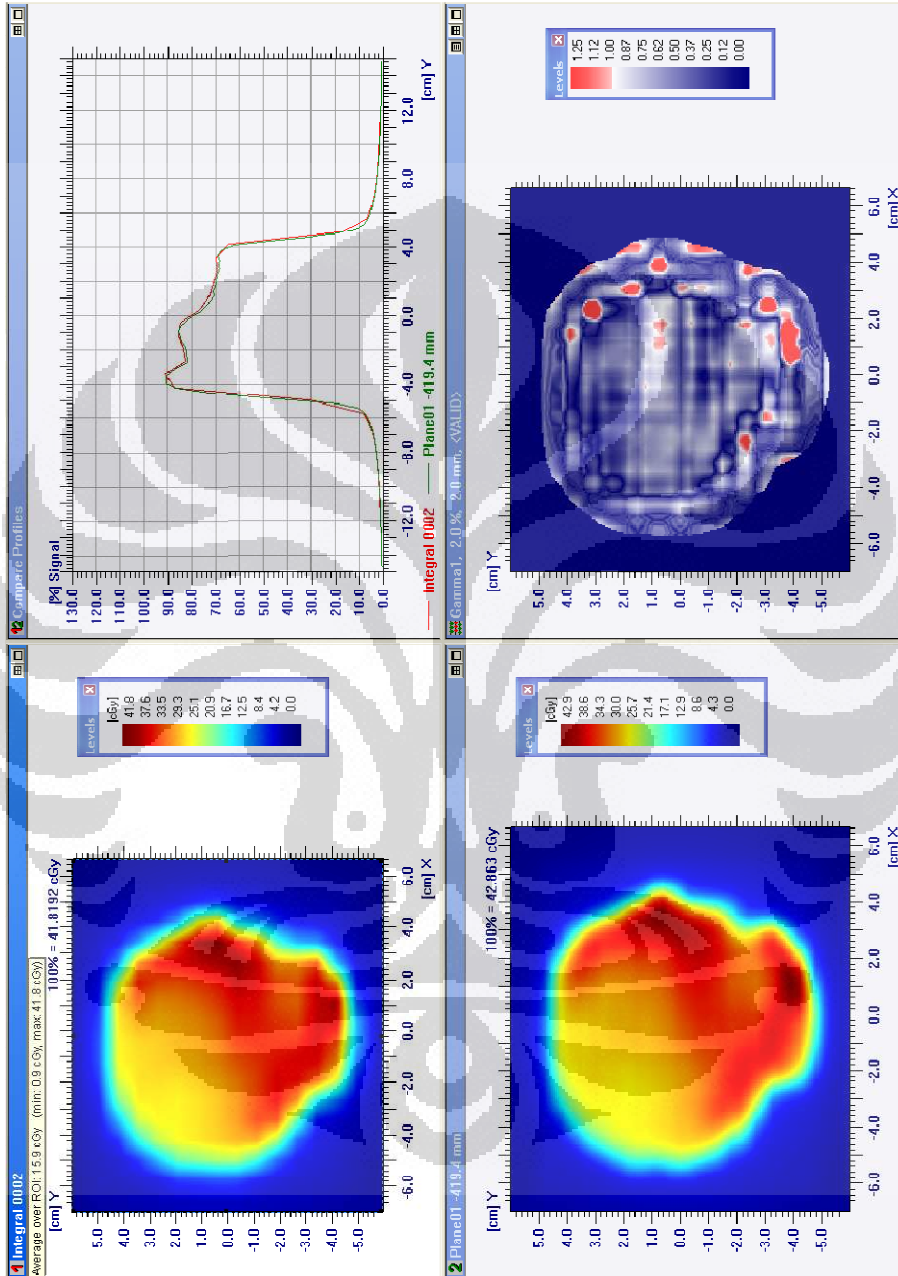
Setelah dilakukan penyinaran untuk setiap lapangan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



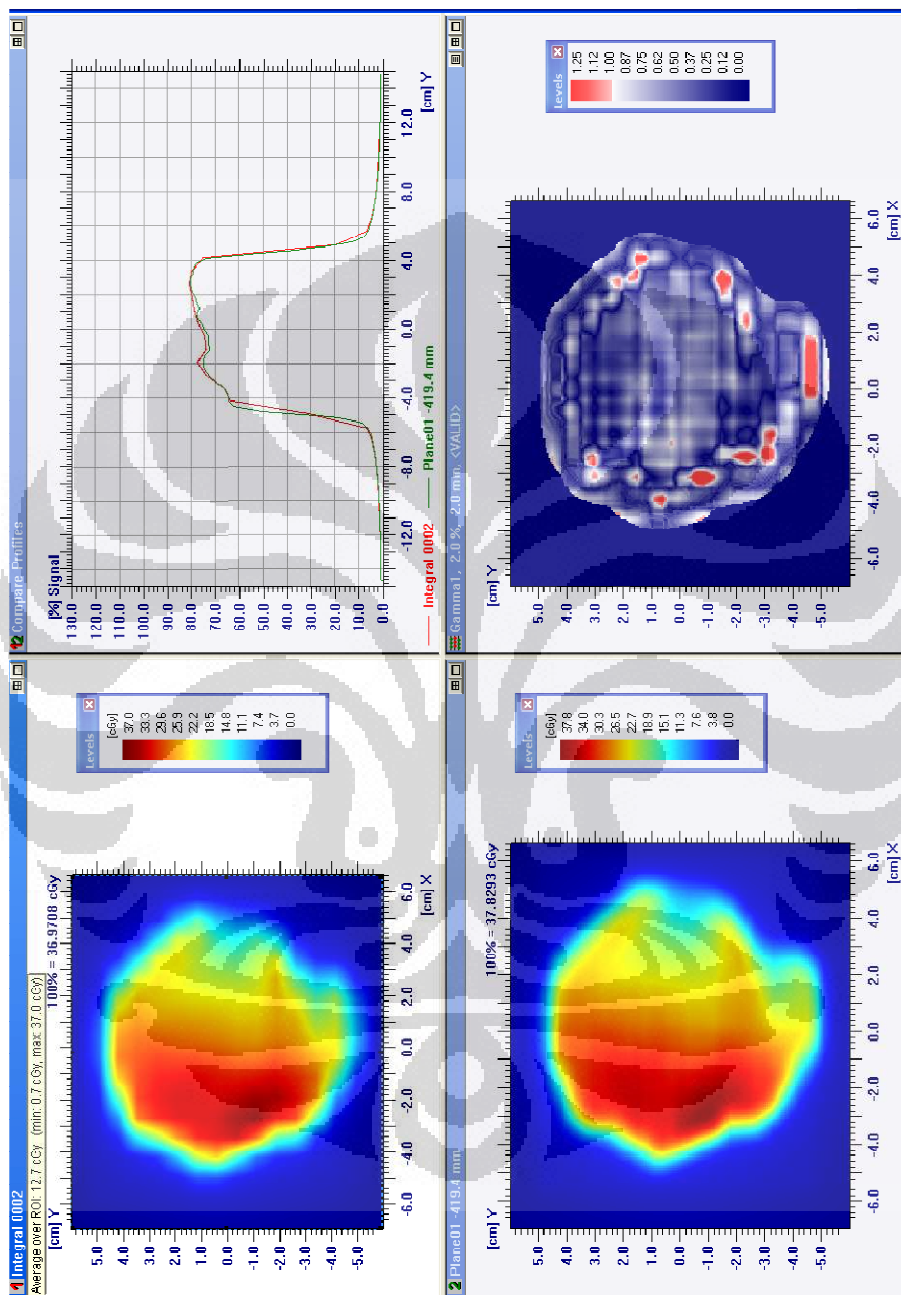
Gambar 4.7. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 1



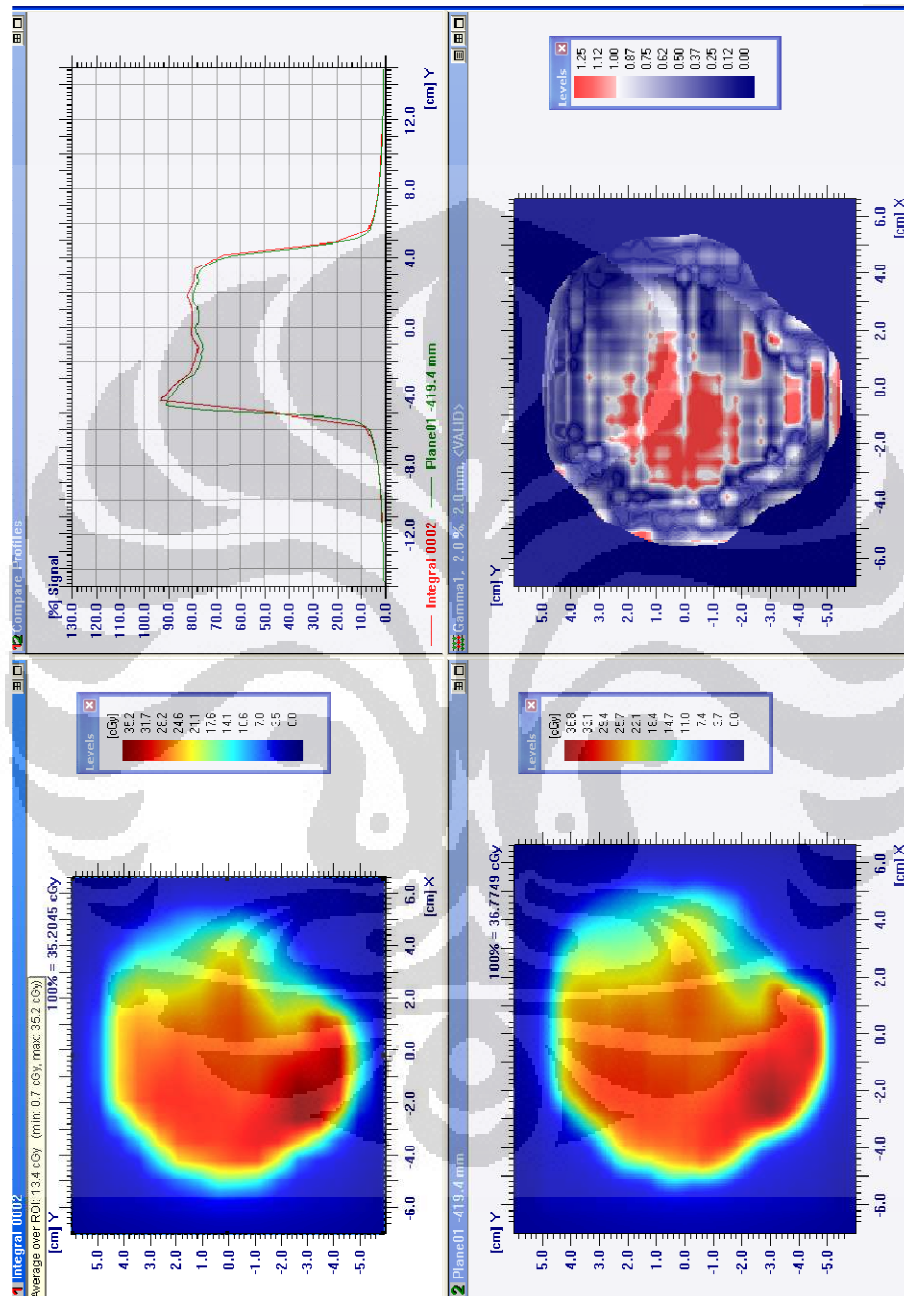
Gambar 4.8. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 2



Gambar 4.9. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapisan penyinaran 3



Gambar 4.10. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 4



Gambar 4.1.1. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 5

Dari gambar 4.7 sampai gambar 4.11 diatas merupakan hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 2 “*Glioblastoma Multiforme*”. Pada gambar tampak empat bagian citra yaitu distribusi dosis pengukuran dengan MatriXX Evolution pada bagian kanan atas, distribusi dosis perhitungan TPS pada bagian kanan bawah) kurva profil distribusi dosis gabungan antara pengukuran (merah) dan perhitungan TPS (hijau) pada bagian kiri atas, dan kesesuaian piksel dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD dan 2 mm DTA pada bagian kiri bawah. Dari gambar diatas diperoleh kesesuaian piksel pada setiap lapangan penyinaran yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2. Hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 2 pada setiap lapangan penyinaran

Lapangan penyinaran	Kesesuaian piksel ($\gamma \leq 1$) Pada 2 % DD dan 2 mm DTA
1	96,56 %
2	98,65 %
3	99,54 %
4	99,63 %
5	98,00 %

Pada gambar 4.7 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 1 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution mengasilkan kesesuaian piksel 96,56 % dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.8 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 2 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution mengasilkan kesesuaian piksel 98,65 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.9 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 3 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan

pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,54 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

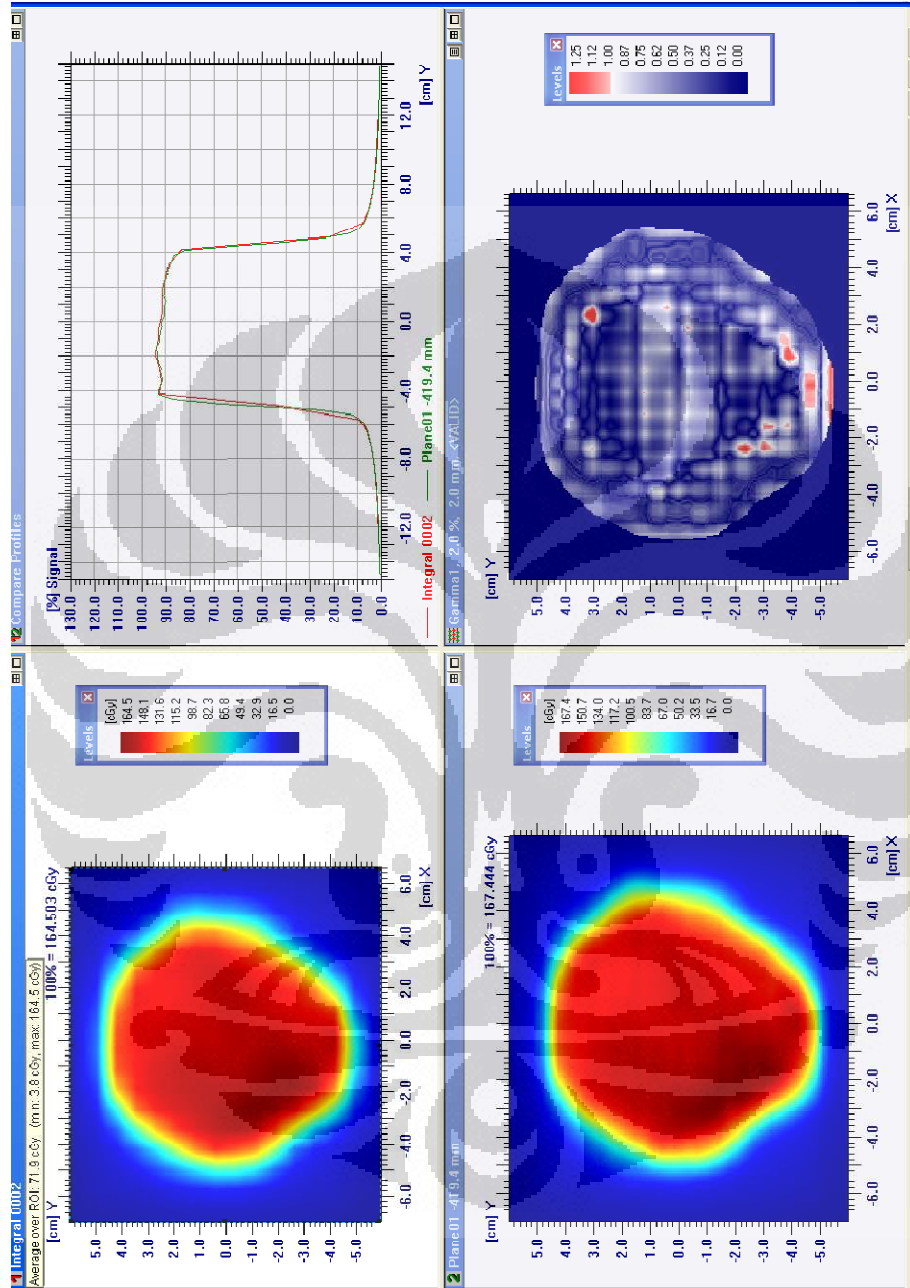
Pada gambar 4.10 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 4 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,63 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.11 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 2 lapangan penyinaran 5 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 98,00 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

4.2.2. Verifikasi semua lapangan penyinaran

Verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 2, selain dilakukan verifikasi pada setiap lapangan penyinaran, juga dilakukan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran, yang merupakan gabungan dari setiap penyinaran yang akan menghasilkan distribusi dosis semua lapangan penyinaran yang telah dihasilkan pada perhitungan perangkat lunak TPS dengan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution.

Setelah dilakukan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



Gambar 4.12. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 2 akumulasi semua lapangan penyinaran

Pada gambar 4.12. merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 2 untuk semua lapangan penyinaran pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,81 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Dari hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 2, terdapat 5 lapangan penyinaran yang mempunyai distribusi dosis yang berbeda – beda untuk mendapatkan dosis yang optimal sesuai dengan bentuk organ target. Pada setiap lapangan penyinaran mempunyai distribusi dosis yang berbeda – beda pada setiap bagian karena menggunakan modulasi intensitas radiasi dengan pergerakan MLC. Pada verifikasi untuk semua lapangan gambaran distribusi dosis lebih homogen bila dibandingkan dengan verifikasi pada setiap lapangan karena merupakan akumulasi dosis dari 5 lapangan penyinaran.

Kesesuaian piksel yang dihasilkan, merupakan perbandingan dari perencanaan verifikasi pada TPS untuk setiap lapangan penyinaran. Pada verifikasi kasus pasien 2, nilai kesesuaian pixel yang paling rendah yaitu pada lapangan penyinaran 1 dimana nilainya 96,56 %.

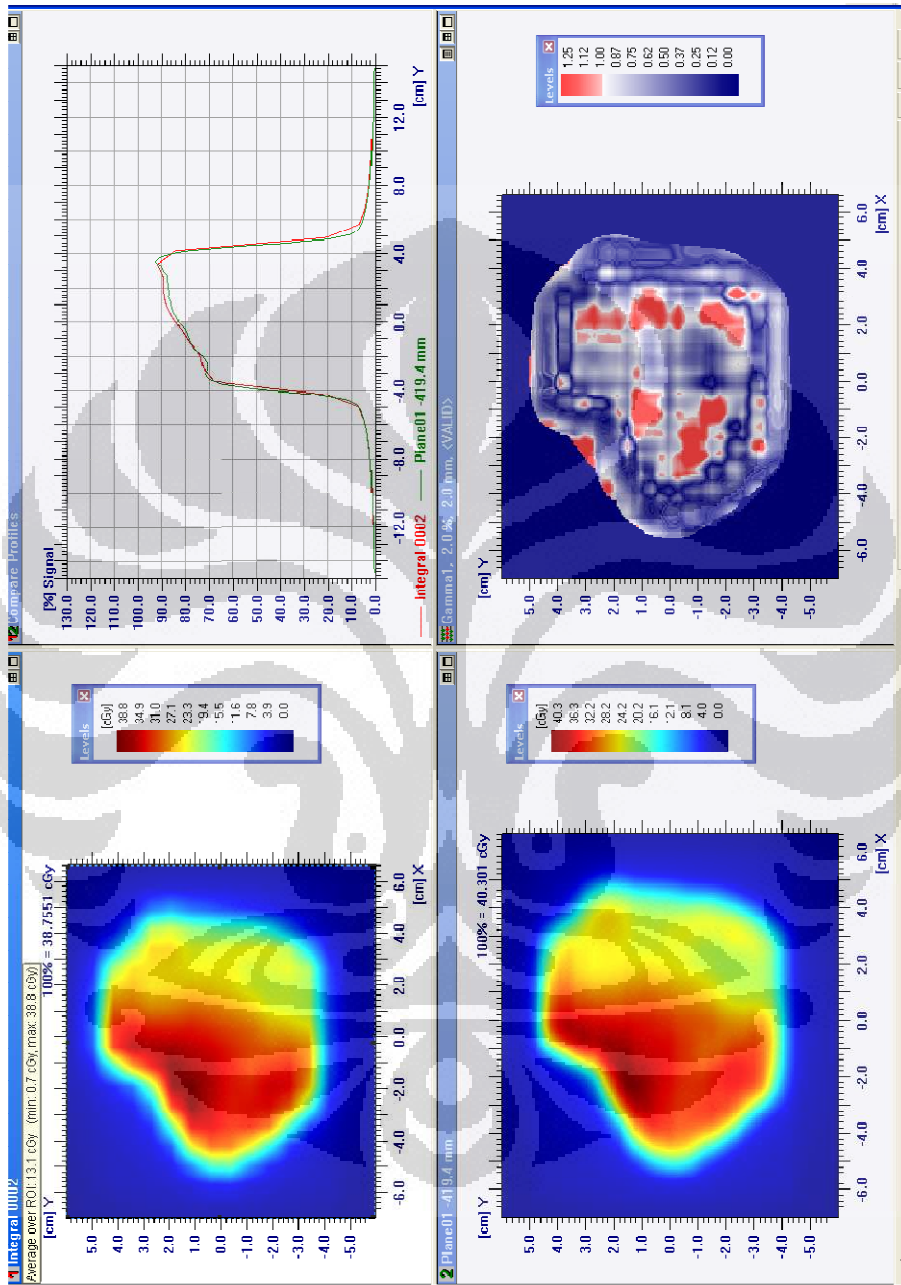
4.3. Verifikasi pada kasus pasien 3 “*Glioblastoma Multiforme*”

Telah dilakukan verifikasi penyinaran IMRT menggunakan MatriXX Evolution. Modalitas energi yang digunakan yaitu sinar X 6 MV, ada 5 lapangan penyinaran, SSD pada 86,5 cm dimana *crosshair* pesawat terapi berada pada pertengahan MULTICube. Pada penelitian ini verifikasi dilakukan tiap lapangan penyinaran dan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran.

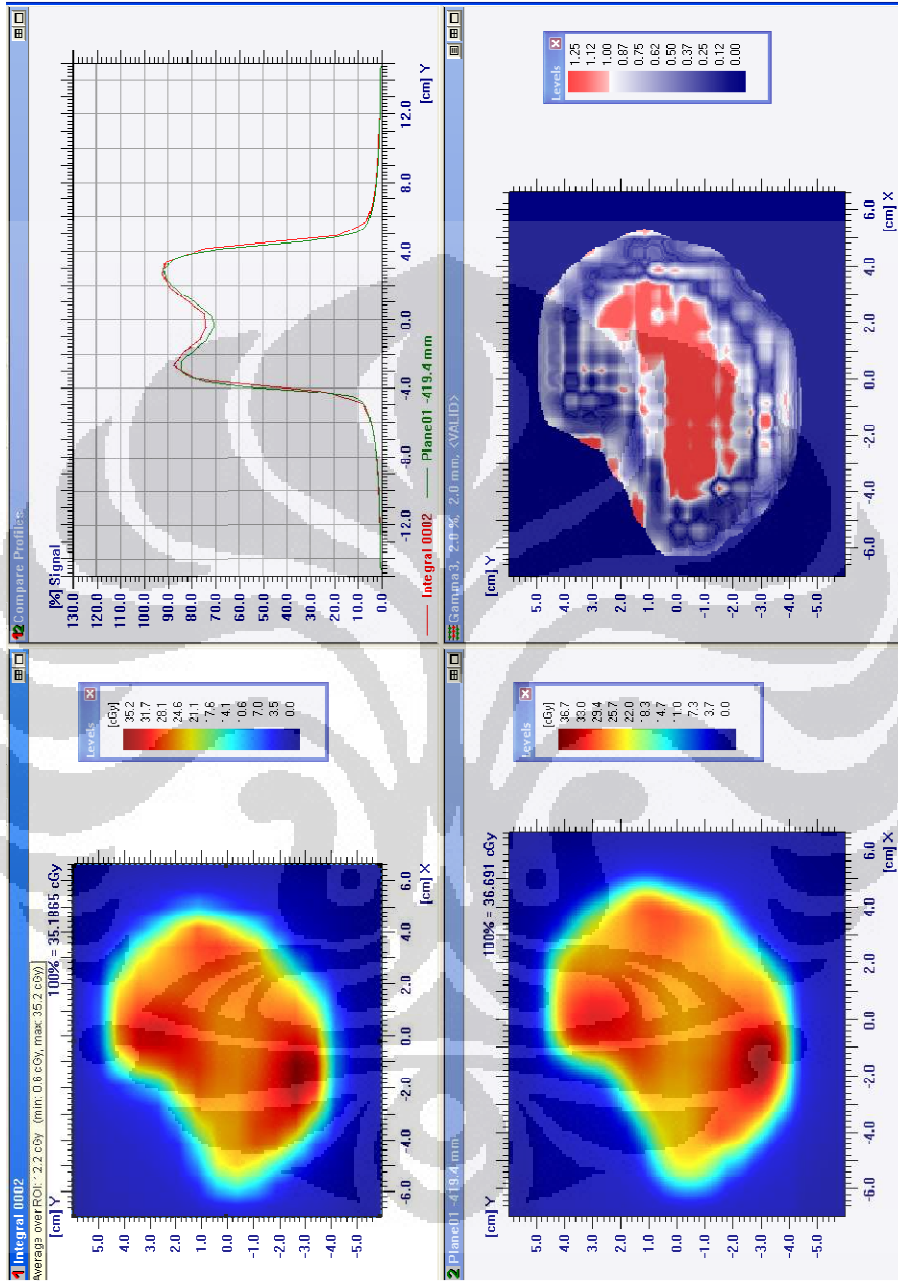
4.3.1. Verifikasi setiap lapangan penyinaran

Verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 3, dilakukan pengukuran pada setiap lapangan penyinaran untuk mendapatkan distribusi dosis pada setiap lapangan yang telah dihasilkan pada perhitungan perangkat lunak TPS dengan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution.

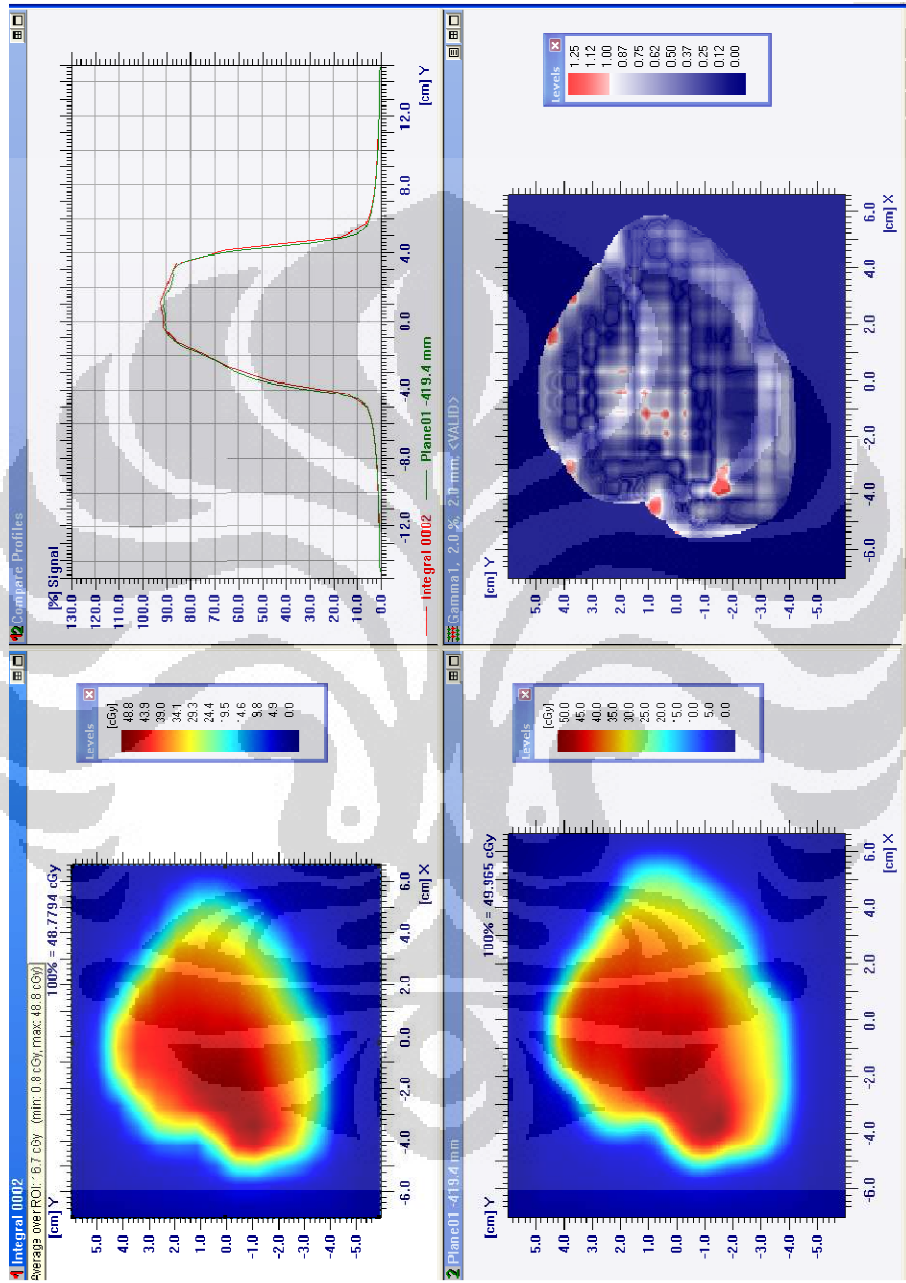
Setelah dilakukan penyinaran untuk setiap lapangan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



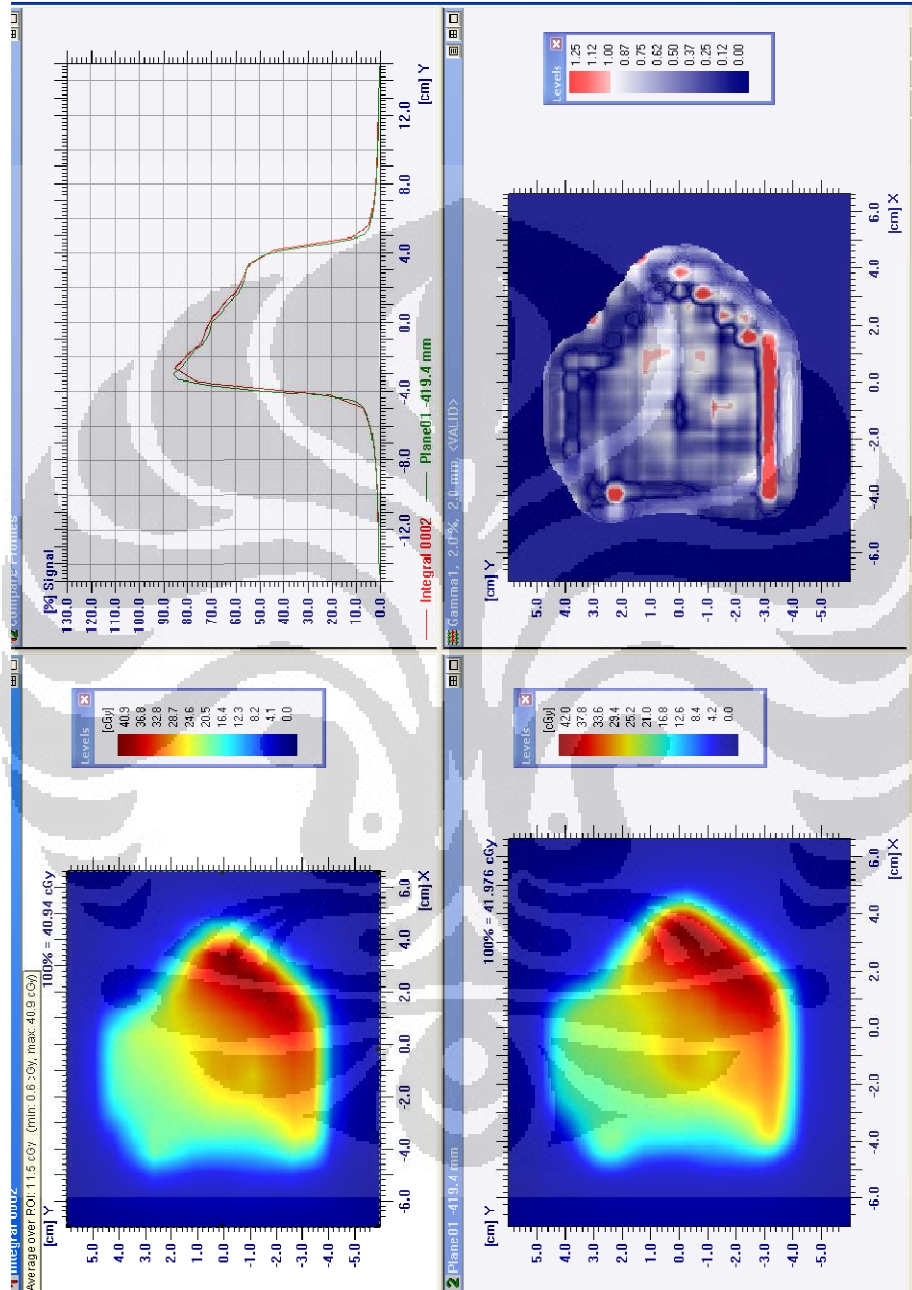
Gambar 4.13. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 1



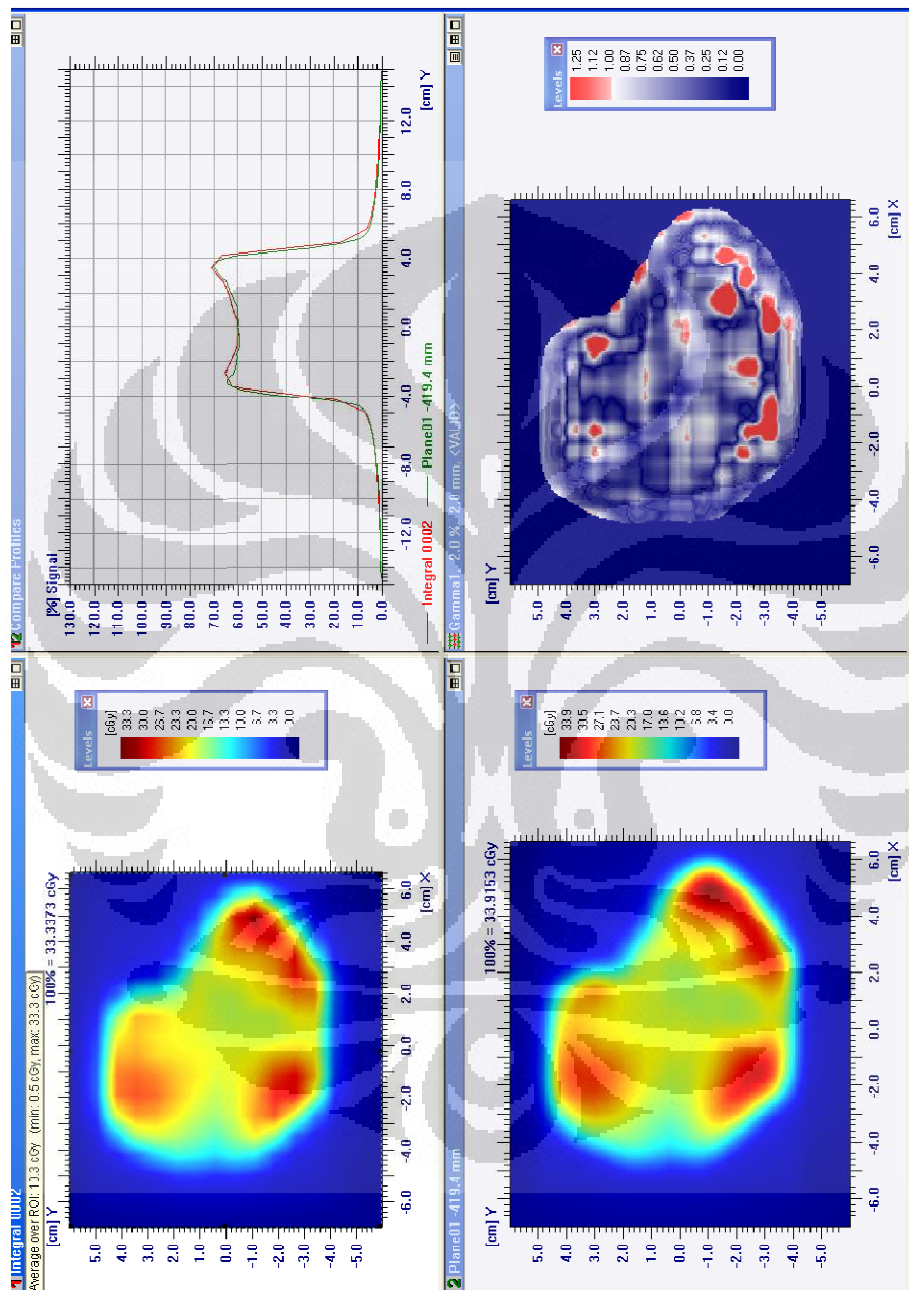
Gambar 4.14. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapisan penyinaran 2



Gambar 4.15. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 3



Gambar 4.16. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapisan penyinaran 4



Gambar 4.17. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 5

Dari gambar 4.13 sampai gambar 4.17 diatas merupakan hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 3 “*Glioblastoma Multiforme*”. Pada gambar tampak empat bagian citra yaitu distribusi dosis pengukuran dengan MatriXX Evolution pada bagian kanan atas, distribusi dosis perhitungan TPS pada bagian kanan bawah) kurva profil distribusi dosis gabungan antara pengukuran (merah) dan perhitungan TPS (hijau) pada bagian kiri atas, dan kesesuaian piksel dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD dan 2 mm DTA pada bagian kiri bawah. Dari gambar diatas diperoleh kesesuaian piksel pada setiap lapangan penyinaran yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3. Hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 3 pada setiap lapangan penyinaran

Lapangan penyinaran	Kesesuaian piksel ($\gamma \leq 1$) Pada 2 % DD dan 2 mm DTA
1	98,67 %
2	97,70 %
3	99,81 %
4	99,52 %
5	99,26 %

Pada gambar 4.13 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 1 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution mengasilkan kesesuaian piksel 98,67 % dengan kriteria nilai $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.14 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 2 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution mengasilkan kesesuaian piksel 97,70 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.15 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 3 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan

pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,81 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

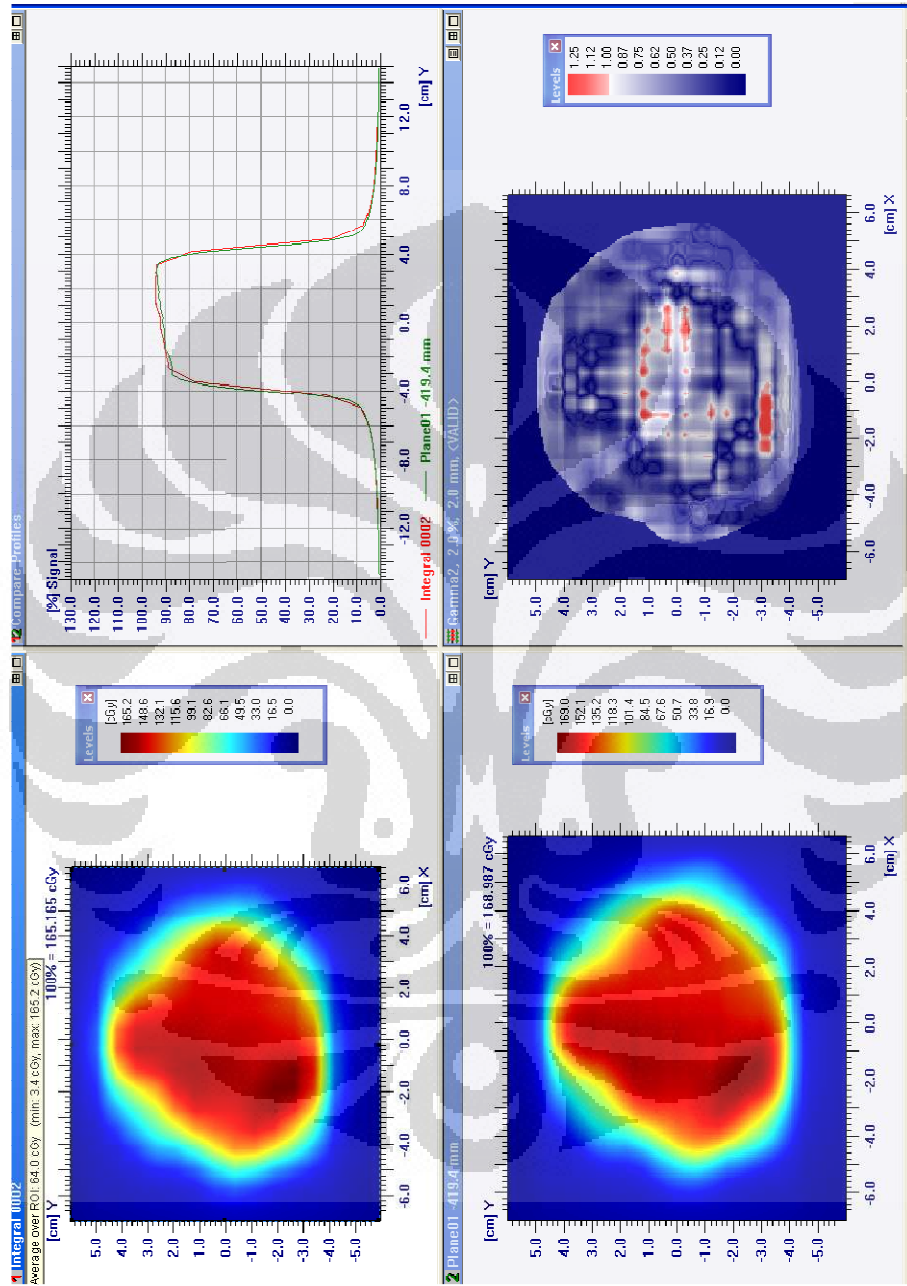
Pada gambar 4.16 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 4 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,52 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Pada gambar 4.17 merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 3 lapangan penyinaran 5 pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,26 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

4.3.2. Verifikasi semua lapangan penyinaran

Verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 3, selain dilakukan verifikasi pada setiap lapangan penyinaran, juga dilakukan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran, yang merupakan gabungan dari setiap penyinaran yang akan menghasilkan distribusi dosis semua lapangan penyinaran yang telah dihasilkan pada perhitungan perangkat lunak TPS dengan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution.

Setelah dilakukan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



Gambar 4.18. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 3 akumulasi semua lapangan penyinaran

Pada gambar 4.18. merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 3 untuk semua lapangan penyinaran pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,69 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

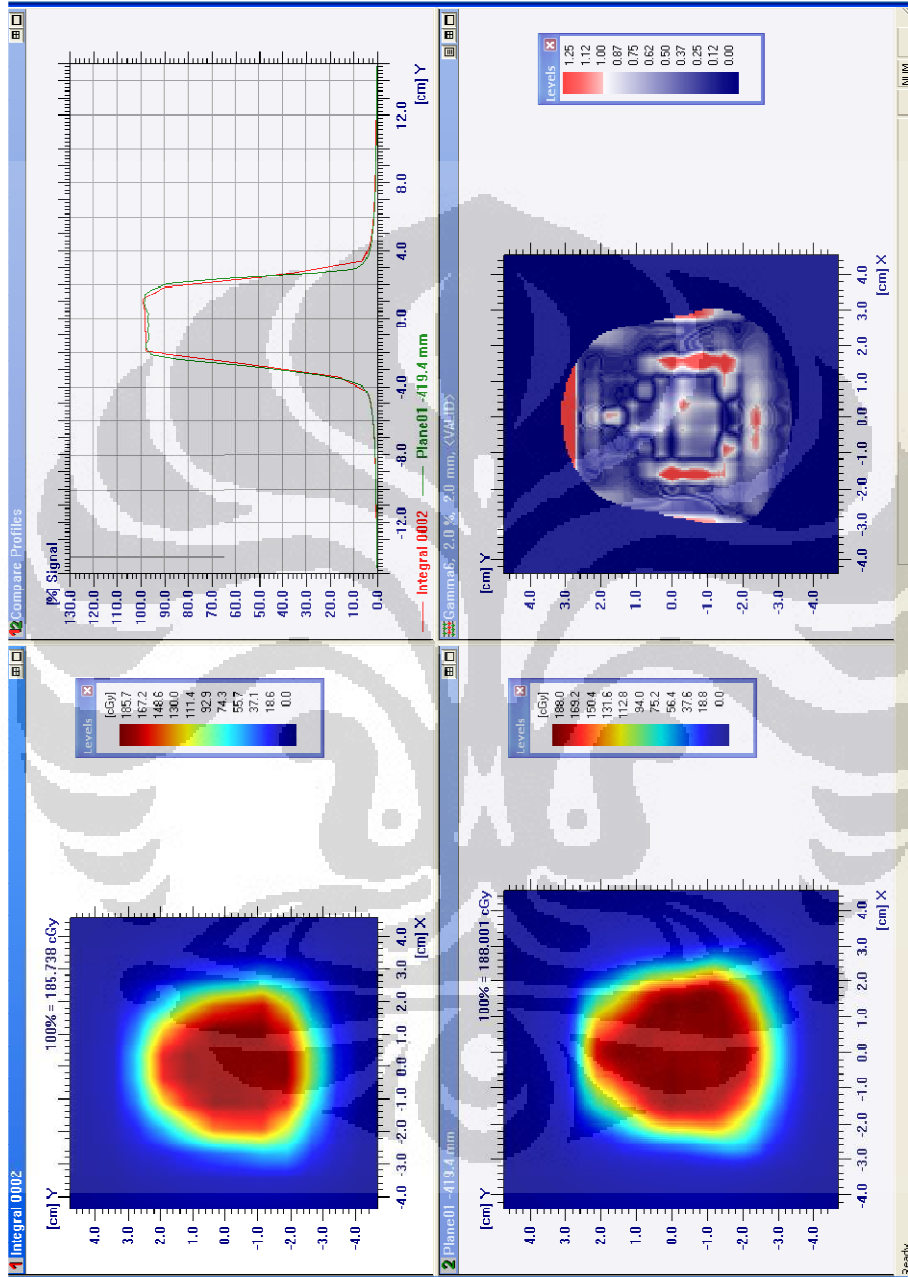
Dari hasil verifikasi penyinaran IMRT pada kasus pasien 3, terdapat 5 lapangan penyinaran yang mempunyai distribusi dosis yang berbeda – beda untuk mendapatkan dosis yang optimal sesuai dengan bentuk organ target. Pada setiap lapangan penyinaran mempunyai distribusi dosis yang berbeda – beda pada setiap bagian karena menggunakan modulasi intensitas radiasi dengan pergerakan MLC. Pada verifikasi untuk semua lapangan gambaran distribusi dosis lebih homogen bila dibandingkan dengan verifikasi pada setiap lapangan karena merupakan akumulasi dosis dari 5 lapangan penyinaran.

Kesesuaian piksel yang dihasilkan, merupakan perbandingan dari perencanaan verifikasi pada TPS untuk setiap lapangan penyinaran. Pada verifikasi kasus pasien 3, nilai kesesuaian pixel yang paling rendah yaitu pada lapangan penyinaran 2 dimana nilainya 97,70 %.

4.4. Verifikasi pada kasus pasien 4 “*Glioblastoma Multiforme*”

Telah dilakukan verifikasi penyinaran IMRT menggunakan MatriXX Evolution. Modalitas energi yang digunakan yaitu sinar X 6 MV, ada 5 lapangan penyinaran, SSD pada 86,5 cm dimana *crosshair* pesawat terapi berada pada pertengahan MULTICube. Pada penelitian ini verifikasi dilakukan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran.

Setelah dilakukan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;



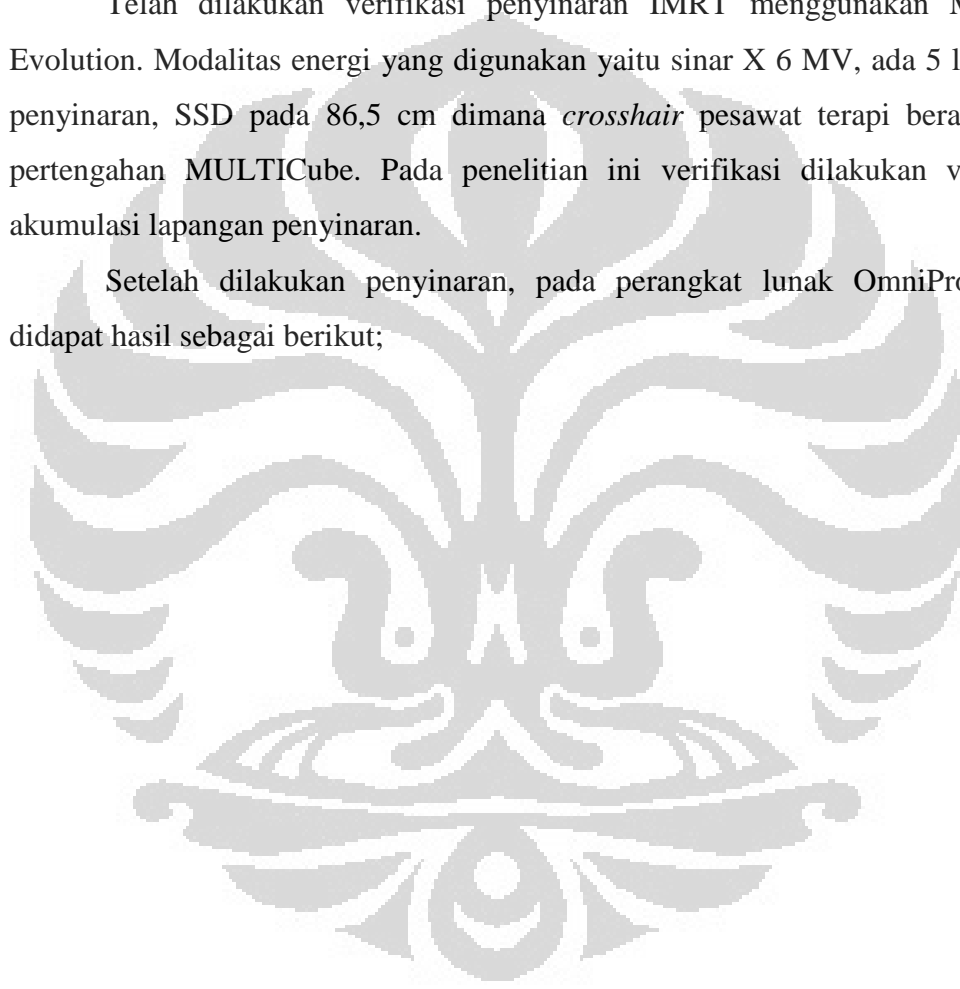
Gambar 4.19. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 4 akumulasi semua lapangan penyinaran

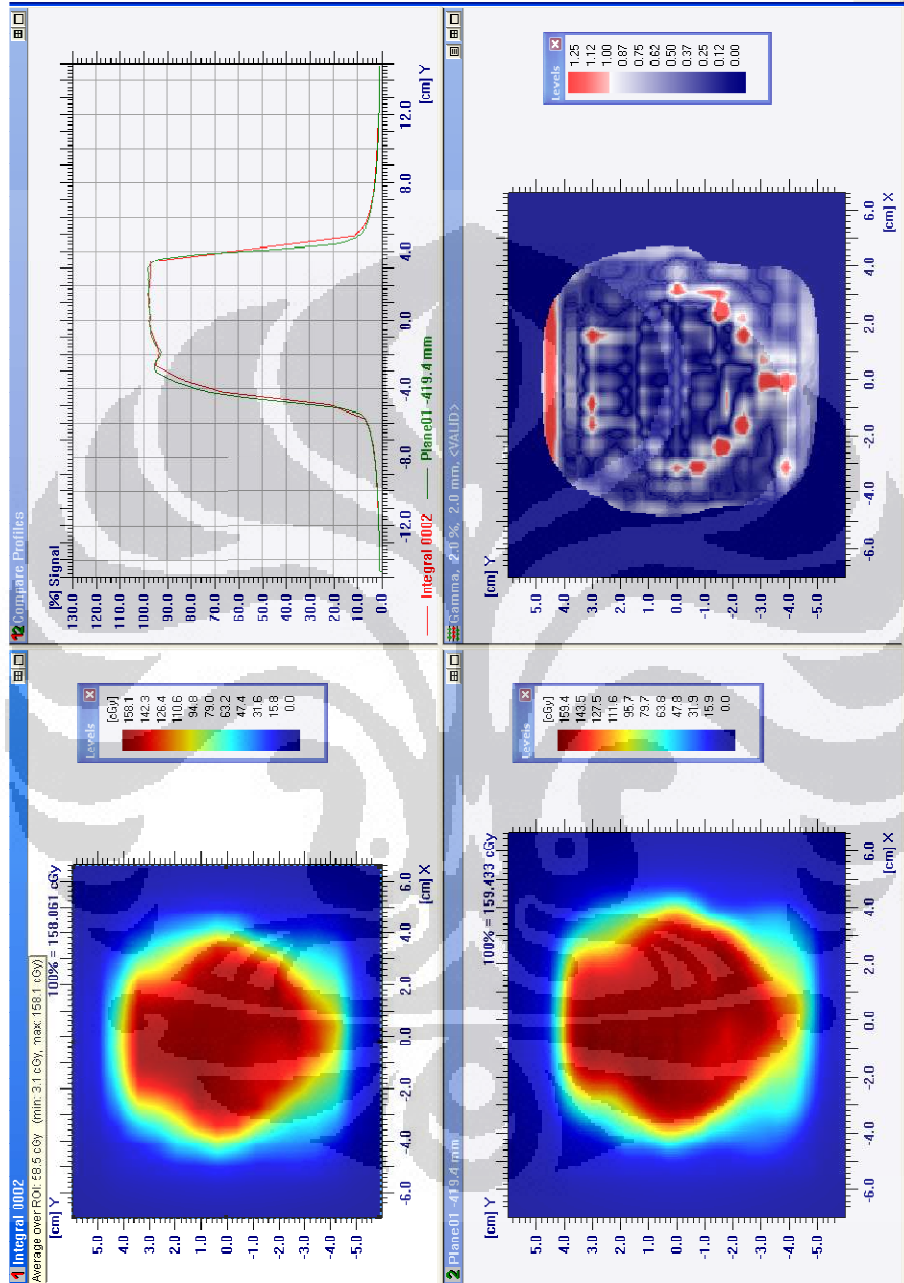
Pada gambar 4.19. merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 4 untuk semua lapangan penyinaran pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,35 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

4.5. Verifikasi pada kasus pasien 5 “*Glioblastoma Multiforme*”

Telah dilakukan verifikasi penyinaran IMRT menggunakan MatriXX Evolution. Modalitas energi yang digunakan yaitu sinar X 6 MV, ada 5 lapangan penyinaran, SSD pada 86,5 cm dimana *crosshair* pesawat terapi berada pada pertengahan MULTICube. Pada penelitian ini verifikasi dilakukan verifikasi akumulasi lapangan penyinaran.

Setelah dilakukan penyinaran, pada perangkat lunak OmniPro ImRT didapat hasil sebagai berikut;





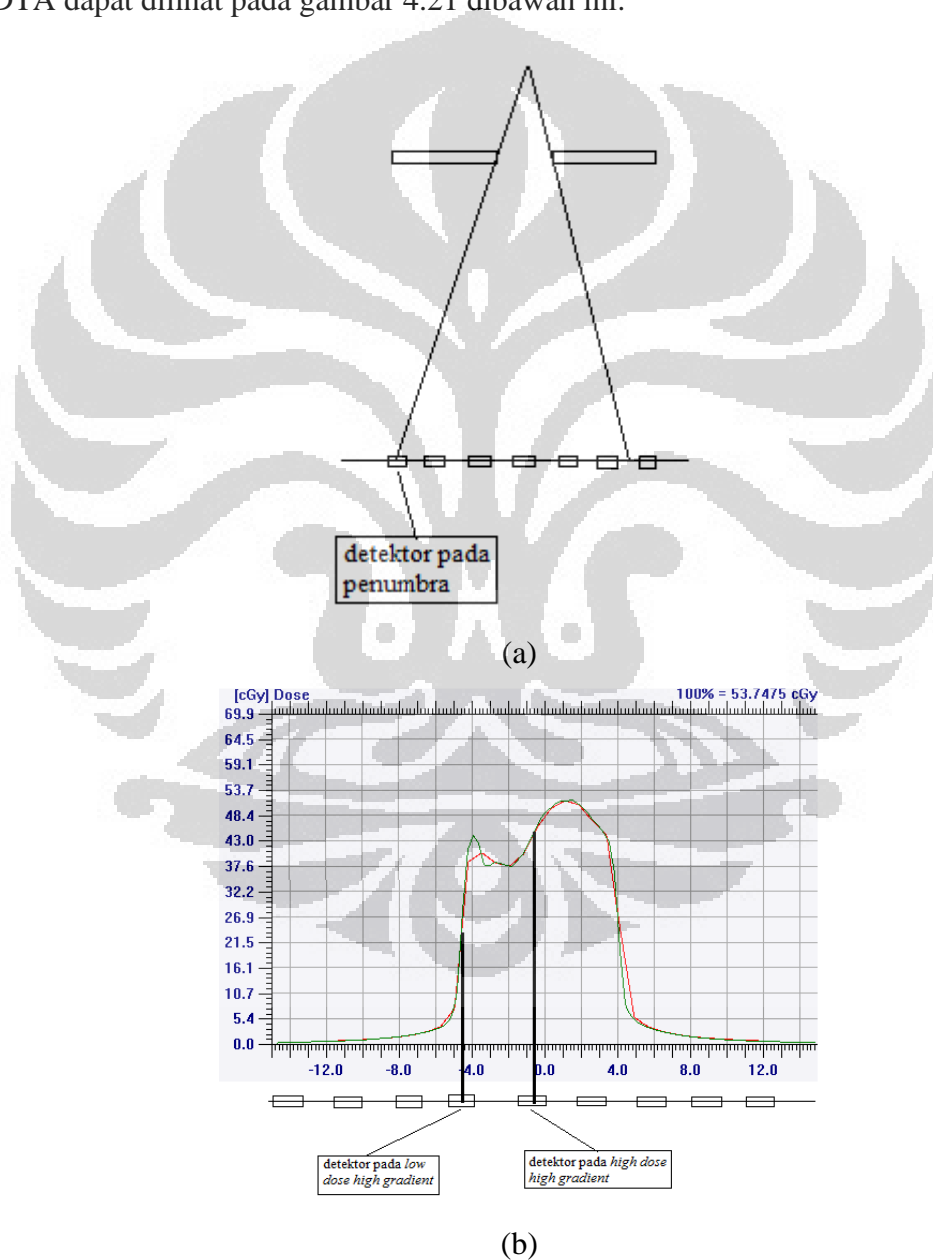
Gambar 4.20. Perbandingan distribusi dosis pengukuran menggunakan MatriXX Evolution (kanan atas) dengan perhitungan TPS (kanan bawah) pada kasus pasien 5 akumulasi semua lapangan penyinaran

Pada gambar 4.20. merupakan perbandingan dari verifikasi IMRT pada kasus pasien 5 untuk semua lapangan penyinaran pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution. Distribusi dosis pada perhitungan TPS dan pengukuran menggunakan MatriXX Evolution menghasilkan kesesuaian piksel 99,67 % dengan kriteria $\gamma \leq 1$ pada 2 % DD, dan 2 mm DTA.

Verifikasi penyinaran IMRT yang dilakukan pada setiap lapangan penyinaran, hasilnya pada perangkat lunak OmniPro I'mRT terlihat perbandingan distribusi dosis dari verifikasi penyinaran IMRT pada setiap lapangan penyinaran, dimana pada bagian kanan atas merupakan hasil dari pengukuran menggunakan MatriXX Evolution, pada bagian kanan bawah merupakan hasil perhitungan pada TPS. Dari kedua distribusi dosis tersebut dapat dilihat profil distribusi dosis yang sudah digabungkan antara profil pengukuran dengan profil perhitungan TPS pada bagian kiri atas. Pada profil tersebut merupakan profil distribusi dosis pada sumbu Y terhadap sumbu X = 0, pada awal kurva mengalami kenaikan dan akhir kurva mengalami penurunan yang merupakan batas antara daerah yang tidak mendapat radiasi dengan daerah yang mendapatkan radiasi yang merupakan lapangan penyinaran IMRT, pada daerah tengah merupakan distribusi dosis pada setiap lapangan penyinaran dimana dosisnya bervariasi sehingga kurva yang terbentuk terjadi fluktuasi yang mencolok. Pada bagian kiri bawah merupakan gambaran nilai gamma pada 2 % DD dan 2 mm DTA, terdapat beberapa bagian yang mempunyai nilai gamma > 1 yang mengakibatkan nilai kesesuaian piksel berkurang yang disebabkan; pertama karena efek pada daerah penumbra, karena dosis pada tepi lapangan penyinaran relatif kecil, sedangkan detektor yang digunakan berdiameter 4,5 mm, jika letak sebagian detektor pada daerah penumbra dan sebagian pada daerah yang tidak terkena radiasi, sedangkan pembacaan detektor bukan pada titik perhitungan, sehingga mengakibatkan perbedaan pengukuran dengan perhitungan pada TPS. Kedua, karena jarak antara detektor 7,6 mm dan area aktif detektor 4,5 x 5 mm dengan volume 0,08 cm³, untuk titik – titik yang memiliki perbedaan dosis besar, sehingga pada satu detektor akan menerima dosis untuk titik –titik yang memiliki perbedaan dosis sangat besar, yang mengakibatkan dosis yang diukur menjadi sama, dan untuk dosis perhitungan TPS yang tidak berada tepat pada detektor,

pengukuran yang dihasilkan merupakan interpolasi dari pengukuran pada detektor - detektor disekitarnya. Ketiga, karena pergerakan MLC secara dinamis yang merupakan untuk mengatur intensitas radiasi yang diberikan, untuk pergerakan MLC, bagian *tongue* dan *groove* pada MLC yang akan mempengaruhi distribusi dosis pada pengukuran terutama pada variasi dosis yang besar.

Estimasi skenario posisi detektor pada proses verifikasi penyinaran IMRT sehingga diperoleh pengukuran dengan kriteria $\gamma \leq 1$ dengan 2 % DD dan 2 mm DTA dapat dilihat pada gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4.21. Estimasi skenario posisi detektor pada verifikasi penyinaran IMRT

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang verifikasi perencanaan IMRT menggunakan MatriXX Evolution yang dilakukan di Rumah Sakit MRCCC Jakarta, telah berhasil dilakukan verifikasi penyinaran dengan 2D Array MatriXX Evolution dengan hasil kesesuaian piksel di atas 90 %. Untuk verifikasi semua lapangan di dapat kesesuaian piksel 99,64 %; 99,81 %; 99,69 %; 99,35 %; 99,67 %. Untuk verifikasi setiap lapangan penyinaran mempunyai kesesuaian piksel pasien 1; 99,38 %; 95,47 %; 99,63 %; 98,98 %; 99,86 %; pasien 2; 96,56 %; 98,65 %; 99,54 %; 99,63 %; 98,00 %; pasien 3; 98,67 %; 97,70 %; 99,81 %; 99,52 %; 99,26 %. Ukuran detektor dan jarak detektor mempengaruhi hasil sehingga muncul kesalahan pengukuran di daerah penumbra, *high gradient*.

5.2. Saran

Dengan adanya penelitian ini, disarankan untuk verifikasi penyinaran IMRT menggunakan 2D Array Matrix detektor yang berukuran kecil dan jarak antar detektor rapat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peter Metcalfe, Tomas Kron, and Peter Hoban. *The Physics of Radiotherapy X-Rays and Electrons*. Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, 2007
2. Podgorsak E.B., *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vienna, 2005
3. Faiz M. Khan, *The Physics of Radiation Therapy*, Lippincott Williams & Wilkins, 3 edition, 2005
4. P. Mayles, A. Nahum, and J.C. Rosenwald, *Handbook of Radiotherapy Physics: theory and practice*, Taylor & Francis Group, New York, 2007
5. IBA Dosimetry AB, *MatriXX User's Guide*, Sweden. July 2008
6. IBA Dosimetry GmbH, *OmniPro IMRT System Version 1.7b User's Guide*, Germany. October 2010.
7. Mijnheer, Georg, *Guidelines for the Verification of IMRT*, ESTRO, 2008
8. Monica Kishore, *Accuracy of Planar Dosimetry for Volumetric Modulated Arc Therapy Quality Assurance*, Medical Physics Duke University, 2011
9. TG-119, *IMRT Commissioning Tests Instructions for Planning, Measurement, and Analysis*, AAPM, 2009
10. AAPM Report No.72, *Basic Applications of Multileaf Collimators*, AAPM, 2001
11. Sathiyam Saminathan, Ravikumar M, Varatharaj C, Sanjai S. Supe, *Dosimetric study of 2D Ion Chamber Array Matrix for the Modern Radiotherapy Treatment Verification*, Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2010
12. Tom depuydt, Ann V E, Dominique P H, *A Quantitative Evaluation of IMRT Dose Distributions; Refinement and Clinical Assesment of the Gamma Evaluation*, Radiotherapy and Oncology 62, 2002