



UNIVERSITAS INDONESIA

PERBANDINGAN PENGUKURAN MODEL STUDI
KONVENSIIONAL DENGAN MODEL STUDI 3D
HASIL PEMINDAIAN LASER

TESIS

RIRIT DAMAYANTI

0906601033

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
PROGRAM DOKTER GIGI SPESIALIS ORTODONTI
UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

PERBANDINGAN PENGUKURAN MODEL STUDI
KONVENSIIONAL DENGAN MODEL STUDI 3D
HASIL PEMINDAIAN LASER

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Spesialis Ortodonti

RIRIT DAMAYANTI

0906601033

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
PROGRAM DOKTER GIGI SPESIALIS ORTODONTI
UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : drg.Ririt Damayanti

NPM : 0906601033

Tanggal : 25 Juni 2012

Tanda tangan : 

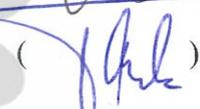
HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : drg. Ririt Damayanti
NPM : 0906601033
Program Studi : Ortodonti
Judul Tesis : Perbandingan Pengukuran Model Studi Konvensional dengan Model Studi 3D Digital Hasil Pemindaian Laser.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Spesialis Ortodonti pada Program Studi Ortodonti, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Indonesia.

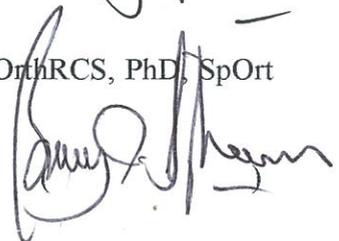
DEWAN PENGUJI

Pembimbing I/Penguji : drg. Nia Ayu Ismaniati, MDSc, Sp.Ort. (K) ()

Pembimbing II/Penguji : drg. Fadli Jazaldi, Sp.Ort ()

Penguji I : DR. drg. Miesje K Purwanegara, SU, Sp.Ort. (K) ()

Penguji II : drg. Krisnawati, Sp.Ort.(K) ()

Penguji III : drg. Benny M. Soegiharto, MscOrth, MOrthRCS, PhD, SpOrt ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Spesialis Ortodonti pada Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa awal perkuliahan sampai pada penyusunan tesis, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Yang terhormat drg. Nia Ayu Ismaniati, MDSc, Sp.Ort. (K) selaku pembimbing pertama dan penguji, atas segala dukungan, waktu, bimbingan dan dukungan yang diberikan kepada saya selama pembuatan tesis.
- (2) Yang terhormat drg.Fadli Jazaldi, Sp.Ort selaku pembimbing kedua dan penguji, atas segala dukungan, waktu, bimbingan dan dukungan yang diberikan kepada saya selama pembuatan tesis.
- (3) Yang terhormat DR.drg. Miesje K Purwanegara, SU, Sp.Ort. (K) selaku koordinator pendidikan spesialis dan ketua penguji, drg. Krisnawati, Sp.Ort.(K) selaku kepala bagian ortodonti dan penguji, drg. Benny M. Soegiharto, MscOrth, MOrthRCS, PhD, SpOrt selaku penguji yang telah banyak memberi masukan terhadap penulisan tesis.
- (4) Yang terhormat seluruh staf pengajar Departemen Ortodonti yang telah memberi ilmu, masukan dan dukungan selama masa perkuliahan.
- (5) Yang terhormat DR.Ir. Ary Setijadi Prihatmanto, yang telah berkenan mendukung pelaksanaan penelitian, memberi masukan dan dukungan moril selama penulisan tesis.
- (6) Keluargaku tercinta : Bapakku Prof.drh. Soeripto, MVs, PhD dan ibu Hj.Sri Wahyuni, yang memberi dukungan selama perkuliahan.

- (7) Keluargaku tercinta : Suami Ronnie Kurniawan ST,MM., yang selalu memberi dukungan, doa, semangat dan kesabaran dari awal perkuliahan, pembuatan tesis dan sampai saat ini, dan anak tercinta Rakha Keandre Mahardika.
- (8) Sahabatku Luciana, drg yang sangat kompak dan selalu memberi semangat dan orte angkatan 2009 : Alvianti, Putri, Herlia, Widya, Luna, Adit, Sigit, Rafi, Marini dan Eriza yang sangat luar biasa.
- (9) Seluruh pegawai Departemen Ortodonti yang telah membantu dan memberi dukungan selama masa perkuliahan.
- (10) Saya juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuan, dukungan dan doanya sehingga tesis ini berakhir dengan sangat baik.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu, dan apabila masih terdapat kekurangan, penulis berharap dapat menjadi masukan di kemudian hari. Semoga penulisan tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 28 Juni 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : drg.Ririt Damayanti
NPM : 0906601033
Program studi : Dokter Gigi Spesialis Ortodonti
Departemen : Ortodonti
Fakultas : Kedokteran Gigi
Jenis Karya : Tesis

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 :

“Perbandingan Pengukuran Model Studi Konvensional dengan Model Studi 3D Digital Hasil Pemindaian Laser”

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 mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 28 Juni 2012

Yang menyatakan



(drg.Ririt Damayanti)

ABSTRAK

Nama : Ririt Damayanti
Program Studi : Ortodonti
Judul : Perbandingan Pengukuran Model Studi Konvensional dengan Model Studi 3D Digital Hasil Pemindaian Laser

Pendahuluan : Penggunaan model studi digital di Indonesia saat ini belum populer, akan tetapi adanya permasalahan kebutuhan penyimpanan ruangan, kebutuhan penyajian rencana perawatan yang akurat dan belum adanya teknologi model studi tiga dimensi digital di Indonesia menjadi alasan dilakukan penelitian ini. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan merakit pemindai laser dan “benchmark” software tiga dimensi untuk kemudian membandingkan pengukuran pada model studi secara manual dengan digital.

Material dan metode : Sampel yang digunakan sebanyak 12 pasang model gigi paska perawatan ortodonti yang memiliki hubungan molar kelas I. Setiap model studi dipindai menggunakan pemindai laser tiga dimensi. Hasil pemindaian kemudian dilakukan pengukuran jarak mesiodistal, interkaninus, dan intermolar. Pengukuran pada model studi konvensional menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0,01mm dan menggunakan software pada model digital. Masing-masing nilai pengukuran dilakukan pengujian realibilitas (uji intraeksaminer) dengan uji T-test berpasangan, kemudian nilai pengukuran secara digital dibandingkan dengan pengukuran secara manual untuk dilakukan uji validitas menggunakan uji T-test tidak berpasangan.

Hasil : Hasil uji intraeksaminer menunjukkan tidak ada perbedaan yang bermakna antara penghitungan pertama dan kedua dengan nilai p antara 0,07-0,701. Hasil T-test tidak berpasangan menunjukkan tidak ada perbedaan yang bermakna antara pengukuran model studi digital dengan pengukuran model studi konvensional dengan nilai selisih rata-rata lebar mesiodistal sebesar 0,09mm (SD=0,07), nilai rata-rata selisih pengukuran jarak interkaninus 0,10 mm (SD=0,03) dan nilai rata-rata selisih pengukuran jarak intermolar 0,08 mm (SD=0,03) dengan nilai p untuk semua jenis pengukuran antara 0,62-0,99.

Kesimpulan : Perbandingan pengukuran secara manual dengan pengukuran pada model studi digital hasil pemindaian laser 3D menunjukkan perbedaan yang tidak bermakna secara statistik.

Kata kunci : model studi konvensional, model studi 3D digital, pemindaian laser, teknologi 3D.

ABSTRACT

Name : Ririt Damayanti
Study program: Orthodonti
Title : Comparison of Measurements between Conventional Study Models with Digital 3D Study Models from Laser Scanning.

Introduction: The use of digital study models in Indonesia is not popular, but problem such as space required for study models storage, the needs of accurate treatment planning and the absence of 3D digital study model technology in Indonesia is the reason to do this research. This study is an experimental study by assembling a 3D laser scanner with a 3D software "benchmark" and comparing the manual and digital study models measurements.

Material and methods: The amount of samples used in this research was 12 pairs of post-orthodontic treatment study models with class I molar relationship. Each of the conventional study model was scanned and the mesiodistal, intercanine, and intermolar width was measured. Measurement were made with a digital calliper to the nearest 0.01 mm from conventional study models and with the software from the digital model. Each measurement value was tested to know the realibility (intraexaminer test) using paired T-test, then the measurements of digital were compared with measurements performed manually using unpaired t-tests to know the validity.

Results: The intraexaminer test showed no significant difference between the first and second measurements with p values between 0.07 to 0.701. The unpaired T-test showed no significant difference between measurements of digital study models with measurements of conventional models with the mean difference in mesiodistal width 0.09 mm (SD = 0.07), the mean difference of intercanine distance 0.10 mm (SD = 0.03) and the mean difference of intermolar distance 0.08 mm (SD = 0.03) with p values for all types of measurement between 0.62 to 0.99.

Conclusion: Comparison of measurements between conventional study models with digital study models from 3D laser scanning showed no significant difference.

Keywords : conventional study model, digital 3D study model, laser scanning, 3D technology.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. Pendahuluan	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
2. Tinjauan Pustaka	
2.1 Model studi konvensional	5
2.2 Model studi tiga dimensi digital	5
2.3 Pemindai tiga dimensi	6
2.4 Metode pemindaian	6
2.5 Pengolahan data hasil pemindaian	13
2.6 Stereolithografi	19
2.7 Keuntungan dan kerugian model studi 3D digital	20
2.8 Kerangka teori	22
3. Kerangka konsep, hipotesis dan definisi operasional	
3.1 Kerangka konsep	23
3.2 Hipotesis	23

3.3 Definisi operasional	24
3.4 Definisi konsep	25
4. Metode Penelitian	
4.1 Desain dan Jenis Penelitian	26
4.2 Waktu dan tempat penelitian	26
4.3 Populasi subyek penelitian	26
4.4 Besar sampel	26
4.5 Sampel	27
4.6 Bahan dan alat	27
4.7 Tahapan Penelitian	27
4.8 Alur Penelitian	29
5. Hasil Penelitian	30
6. Pembahasan	45
6.1 Pembuatan rangkaian pemindai laser 3D	46
6.2 Uji normalitas distribusi data	49
6.3 Uji intra-eksaminer	49
6.4 Uji validitas data	50
7. Kesimpulan dan Saran	55
DAFTAR REFERENSI	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Prinsip pengukuran triangulasi	8
Gambar 2.2.	Pergerakan obyek secara translasi dan rotasi	8
Gambar 2.3.	Scanner 3D Minolta Vivid 900	11
Gambar 2.4.	Kaliper digital Mitutoyo	13
Gambar 2.5.	Gambaran frontal model OrthoCad	15
Gambar 2.6.	Gambaran bukal kanan model OrthoCad	15
Gambar 2.7.	Gambaran oklusal, gigi yang terletak di luar lengkung dilakukan pengukuran	16
Gambar 2.8.	Pengukuran overjet dan overbite	16
Gambar 2.9.	Gambaran dari oklusal model Geodigm	16
Gambar 2.10.	Gigi dimasukan dan dikeluarkan dari lengkung gigi pada software Geodigm	16
Gambar 2.11.	Gambaran oklusal, melihat kesimetrisan lengkung gigi	17
Gambar 2.12.	Pengukuran menggunakan kaliper digital dan pengukuran secara digital	18
Gambar 2.13a.	Alat oromatrix	18
Gambar 2.13b.	Hasil CBCT	18
Gambar 2.14.	Robot aided NiTi wire	19
Gambar 2.15.	Model replikasi gigi hasil stereolithografi	19
Gambar 5.1.	Model studi yang sudah diberi titik referensi warna merah	31
Gambar 5.2.	Pengukuran model studi menggunakan kaliper digital	31
Gambar 5.3.	Logitech HD webcam 525 dan laser pointer yang dimodifikasi menjadi laser garis	32
Gambar 5.4.	Rangkaian alat pemindai laser 3D yang sedang melakukan pemindaian	32
Gambar 5.5.	Posisi awal pemindaian dan posisi 30° ke kanan (dilihat dari arah operator)	32

Gambar 5.6.	Posisi model studi diubah 30° ke kiri dan perubahan vertikal (dilihat dari arah operator)	33
Gambar 6.1.	Skema serangkaian alat pemindai laser 3D	48
Gambar 6.2.	Kalibrasi pada kaliper digital	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Teknik analisis dua dimensi	5
Tabel 2.2.	Beberapa metode pengukuran tiga dimensi digital di bidang ortodonti	12
Tabel 5.1.	Hasil Uji T-tes berpasangan untuk pengukuran mesio distal, interkaninus dan intermolar pada model studi konvensional dan digital	40
Tabel 5.2	Nilai rata-ata (mean) pengukuran manual, pengukuran digital, selisih antara manual dan digital, nilai distribusi normalitas data dan hasil tes-Levene	41
Tabel 5.3	Hasil Uji	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil pengukuran lebar mesiodistal gigi secara manual dan digital	61
Lampiran 2.	Hasil pengukuran jarak interkaninus dan intermolar gigi secara manual dan digital	63
Lampiran 3.	Nilai selisih antara pengukuran lebar mesiodistal gigi secara manual dan digital	64
Lampiran 4.	Nilai minimum, maksimum, rata-rata dan SD hasil pengukuran secara manual	66
Lampiran 5.	Nilai minimum, maksimum, rata-rata dan SD hasil pengukuran secara digital	67
Lampiran 6.	Nilai minimum, maksimum, rata-rata dan SD dari selisih antara pengukuran secara manual dengan digital	68
Lampiran 7.	Uji normalitas pengukuran secara manual dan digital	69
Lampiran 8.	Hasil penghitungan manual dan replikasi (mm)	70
Lampiran 9.	Hasil penghitungan digital dan replikasi (mm)	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perawatan ortodonti semakin banyak diminati oleh masyarakat Indonesia. Jumlah pasien yang melakukan perawatan ortodonti semakin meningkat, hal ini juga diikuti dengan peningkatan jumlah dokter gigi spesialis ortodonti. Ortodontis harus memiliki kemampuan untuk menentukan diagnosis dan perencanaan perawatan yang tepat sehingga hasil yang didapatkan menjadi maksimal. Ortodontis diharapkan mampu bekerja secara efisien, efektif serta mampu mengikuti perkembangan teknologi.

Diagnosis ortodonti didapatkan dari anamnesa, pemeriksaan klinis, foto ekstraoral dan intraoral, model studi serta pemeriksaan radiografik. Model studi mempunyai fungsi penting karena melengkapi pemeriksaan jenis lain dan dapat memberikan informasi dalam bentuk tiga dimensi.¹ Informasi yang diperoleh dapat berupa informasi mengenai lebar mesiodistal gigi, bentuk gigi dan bentuk lengkung gigi, *curve of spee*, maupun kesimetrisan lengkung gigi.² Sebuah model studi juga digunakan untuk analisis kebutuhan ruang seperti analisis Bolton, analisis Lundstrum, analisis Kesling, analisis Moyers ataupun analisis Howe.³

Model studi atau cetakan gigi harus disimpan dalam kurun waktu tertentu. Di Inggris berdasarkan aturan *Consumer Act Protection 1987*, sebuah model studi harus disimpan dalam jangka waktu 11 tahun.⁴ Indonesia belum memiliki aturan yang menyatakan secara jelas periode suatu model studi harus disimpan. Penyimpanan model studi menjadi perhatian khusus di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia. Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia setiap tahun rata-rata menerima jumlah mahasiswa sekitar 10 orang dengan persyaratan 20 kasus perorang dengan duplikasi sebanyak 3 kali sehingga rerata model studi yang ada pertahun adalah sekitar 600 model studi. Apabila model studi harus disimpan selama 11 tahun maka akan ada 6600 model yang harus disimpan. Hal ini menimbulkan beberapa problematika dalam penyimpanan model studi seperti tempat penyimpanan ataupun keawetan model studi.

Analisis model studi yang berbentuk tiga dimensi banyak dilakukan dalam bentuk dua dimensi seperti dengan cara fotokopi, fotografi dua dimensi ataupun penggunaan *scanner* datar. Bentuk analisa dalam format dua dimensi menyebabkan ketidakakuratan pengukuran dikarenakan pengaruh dari konveksitas struktur gigi, *curve of spee* dan perbedaan inklinasi gigi.⁵ Penelitian yang dilakukan oleh Qomara NZ dkk, menggunakan kamera 2D menemukan adanya perbedaan yang signifikan antara penghitungan manual dengan digital melebihi 0,3 mm.⁶ Kojima dkk (1999), membandingkan model studi hasil pemindaian laser dengan fotografik dan menemukan perbedaan 0,03 mm pada jarak interpremolar.⁷

Dr.Mormann pada tahun 1980 mulai menggunakan teknologi CAD/CAM di bidang kedokteran gigi, dan seiring perkembangan teknologi, di pertengahan 1990 berkembang teknik penyimpanan data model studi dalam bentuk digital tiga dimensi atau dikenal sebagai pencitraan tiga dimensi. Metode pencitraan 3D yang semula digunakan berupa metode holografik yang diperkenalkan oleh Keating PJ dkk., Harradine dkk. maupun Martensson dkk.^{8,9,10} Namun, metode ini kurang berkembang dikarenakan teknik ini rumit. Setelah itu, berkembang metode lain seperti metode stereoskopik yang diperkenalkan oleh Ayoub dkk.¹¹ Saat ini, penelitian mengenai pencitraan 3D lebih banyak dengan metode pemindaian laser dikarenakan metode ini dianggap lebih akurat, cepat dan mudah penggunaannya.

Metode penyimpanan model studi digital 3D berkembang pesat di Amerika dan Eropa. Di Amerika perusahaan yang telah mengembangkan program model studi tiga dimensi dengan pemindaian laser adalah OrthoCad, Geodigm, SureSmile. Di Eropa dikenal 3Shape (Denmark) dan LaserDenta (Swiss). Program dari perusahaan tersebut dapat diunduh langsung dari situs resmi perusahaan. Akan tetapi, untuk pemindaian model studi harus dikirim langsung ke perusahaan penyedia jasa. Program dan peralatan pemindai 3D tersebut untuk saat ini belum dapat dibeli dari Amerika. Proses pengiriman model atau cetakan gigi dari Indonesia ke Amerika memerlukan waktu yang lama (lebih dari 1 minggu dengan Fed Ex), sehingga kemungkinan untuk terjadinya distorsi ataupun kerusakan model gigi sangat tinggi.

Permasalahan kebutuhan penyimpanan ruangan, kebutuhan penyajian rencana perawatan yang akurat dan belum adanya teknologi model studi 3D

digital di Indonesia menjadi alasan dilakukan penelitian ini di Indonesia. Penggunaan model studi digital di Indonesia saat ini memang belum populer, akan tetapi dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi diharapkan seorang ortodontis mengetahui dan dapat menggunakan teknologi ini.

Penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah membandingkan hasil pengukuran pada model studi konvensional dengan model studi 3D digital hasil pemindaian laser. Pemindai laser tiga dimensi dan perangkat lunak pada penelitian ini dibuat dengan model yang sederhana, dapat dengan mudah digunakan oleh setiap ortodontis, harga terjangkau dan akurasi yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Apakah terdapat perbedaan hasil pengukuran lebar mesiodistal, jarak interkaninus dan jarak intermolar antara model studi konvensional dengan model studi 3D digital yang diperoleh dari pemindaian laser (versi Indonesia)?

1.3 Tujuan penelitian

1. Membandingkan hasil pengukuran lebar mesiodistal gigi pada model studi 3D digital dengan model studi konvensional.
2. Membandingkan hasil pengukuran jarak interkaninus pada model studi 3D digital dengan model studi konvensional.
3. Membandingkan hasil pengukuran jarak intermolar pada model studi 3D digital dengan model studi konvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

Bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya ortodonti

Hasil penelitian adalah menghasilkan suatu alat pemindai laser dengan prinsip triangulasi (versi Indonesia) dan perangkat lunak yang efisien, murah dan dapat digunakan oleh ortodontis di Indonesia.

Bagi institusi pendidikan

Hasil penelitian diharapkan dapat membantu institusi dalam hal penyimpanan model studi pasien dan menjadikan institusi Fakultas Kedokteran

Gigi Universitas Indonesia sebagai pionir dalam penggunaan teknologi model studi tiga dimensi digital.

Bagi klinisi

Penelitian ini menjadi awal bagi penelitian selanjutnya sehingga tercipta *software* yang dapat memberi alternatif dalam hal penyimpanan model studi, memudahkan analisis model studi maupun kemudahan dalam hal pertukaran informasi antar klinik dan kemudahan aksesibilitas data.

Bagi pasien

Penelitian ini merupakan penelitian awal yang menjadi landasan bagi penelitian selanjutnya untuk menciptakan piranti lunak yang selain berguna untuk klinisi juga berguna untuk pasien. Klinisi dapat menerangkan kepada pasien secara lebih detail rencana perawatan yang akan dilakukan dan memperlihatkan rencana perubahan pada gigi dengan bantuan media digital (gambar yang ditayangkan pada layar komputer/TV) sehingga pasien mengetahui dengan jelas perubahan yang akan dilakukan pada gigi pasien.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model studi konvensional

Model studi konvensional adalah model studi dalam bentuk tiga dimensi yang berbentuk nyata (bukan digital). Model studi diperoleh dari pencetakan gigi pasien untuk kemudian dilakukan pengecoran dan pembuatan basis berdasarkan catatan gigit pasien sehingga diperoleh cetakan gigi dengan oklusi seperti pada keadaan di pasien. Kualitas dari model studi dipengaruhi keahlian operator, kualitas bahan cetak, dan kualitas bahan pengecoran yang digunakan.

Model studi konvensional saat ini masih menjadi “*gold standard*” untuk pengukuran ataupun analisa kebutuhan ruang, dan alat ukur yang digunakan berupa kaliper digital.¹² Akan tetapi, informasi yang diperoleh dari model studi lebih banyak diolah dan dianalisis dalam bentuk dua dimensi (tabel 2.1).¹³ Bentuk pengolahan data model studi dalam bentuk dua dimensi memiliki kelemahan berupa berkurangnya keakuratan pengukuran mesiodistal gigi dikarenakan pengaruh dari konveksitas struktur gigi, *curve of spee* dan perbedaan inklinasi gigi.⁵

Tabel 2.1. Teknik analisis data dua dimensi

Teknik dua dimensi	Peneliti
Teknik fotografik 2 dimensi	Cookson (1970) Burston (1979)
Fotocopi	Singh dan Savara (1964) Yen (1991) Schirmer dan Wiltshire (1997)
Scanner datar	Tran dkk (2003)

(Sumber : Keating dkk, 2008.)¹³

2.3 Model studi tiga dimensi digital

Model studi tiga dimensi digital adalah model studi tiga dimensi yang ditampilkan secara digital (dalam tayangan komputer). Model studi tiga dimensi

digital diperoleh dari pemindaian langsung pada model studi konvensional untuk kemudian diolah oleh komputer disebut juga CAD (*Computer Aided Design*).

Penggunaan teknologi CAD/CAM di bidang kedokteran gigi mulai berkembang semenjak tahun 1980 yang diperkenalkan oleh Dr. Mormann.⁷ Teknologi ini berkembang pesat terutama di Amerika, Eropa dan Jepang. Perusahaan Amerika/Canada yang terkenal dalam mengembangkan konsep model studi digital adalah Cadent Inc., Geodigm Corp., Sure Smile, Invisalign, GAC Int., dan masih ada beberapa perusahaan lainnya.

2.4 Pemindai tiga dimensi

Pemindaian adalah suatu tindakan yang mengubah obyek atau benda nyata menjadi bentuk digital. Pemindai tiga dimensi (*3D scanner*) adalah alat yang bertujuan menganalisis obyek nyata untuk diambil datanya untuk diolah komputer. Pemindai tiga dimensi bertujuan untuk menciptakan *point cloud* (sistem koordinat tiga dimensi yang didefinisikan sebagai x, y, z sebagai presentasi permukaan eksternal). *Point cloud* akan dikonversi menjadi model poligon atau *mesh triangle*, model NURBS, atau model CAD, tahapan ini disebut juga rekonstruksi permukaan.¹⁴

Prinsip pemindai tiga dimensi mirip dengan prinsip kerja kamera. Kamera mengumpulkan informasi warna objek sedangkan pemindai mengumpulkan informasi jarak permukaan yang disebut sebagai *spherical coordinate system*. Pemindaian harus dilakukan secara berkali-kali bahkan ratusan kali untuk mendapatkan informasi data yang akurat. Benda yang akan dipindai harus memiliki titik referensi tertentu untuk kemudian dilakukan registrasi gambar (data ditransformasi menjadi satu koordinat). Registrasi gambar ini yang akan digunakan perangkat lunak/*software* untuk membaca data.¹⁴

2.5 Metode pemindaian

Metode pemindaian ada dua yaitu dengan kontak langsung dan kontak tidak langsung.

1. Pemindaian dengan kontak langsung.

Merupakan pemindaian yang langsung mengenai obyek, salah satu metodenya adalah dengan CMM (*coordinate measuring machine*). Metode ini sangat akurat, tetapi membutuhkan kontak langsung dengan subyek dan waktu yang dibutuhkan lebih lama dibandingkan pemindaian dengan metode lainnya. Daya operasi hanya beberapa ratus hertz sedangkan pemindai laser bisa 10 sampai 500 kHz.

2. Pemindaian dengan kontak tidak langsung ada dua tipe yaitu aktif dan non aktif.

2.1 Pemindaian kontak tidak langsung aktif dapat berupa *time of flight*, triangulasi laser tiga dimensi, holografik, *structured light 3D scanner* ataupun metode volumetrik.

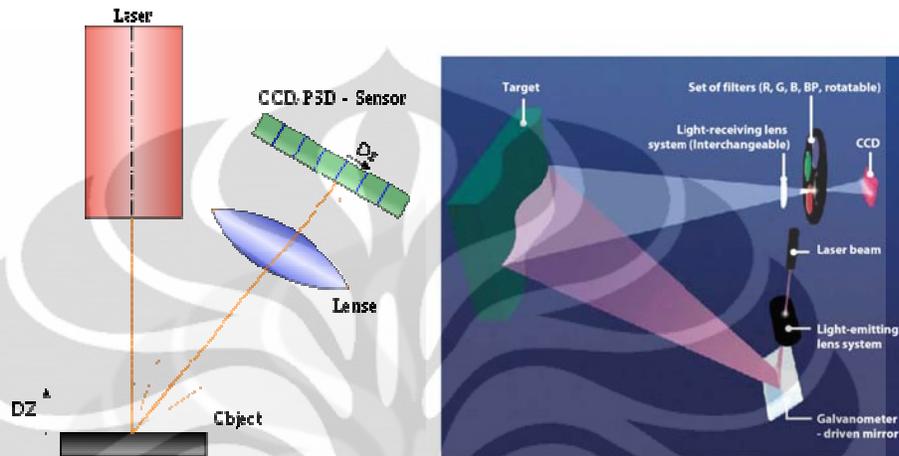
Pada bidang studi ortodonti, metode pemindaian yang pernah digunakan adalah holografik dan triangulasi.

Keating dkk. (1982), Harradine dkk. (1990), dan Martensson dkk. (1992) menggunakan metode holografik untuk mendapatkan model studi tiga dimensi digital.^{8,9,10} Metode ini cukup akurat tetapi tidak praktis sehingga metode ini tidak berkembang.

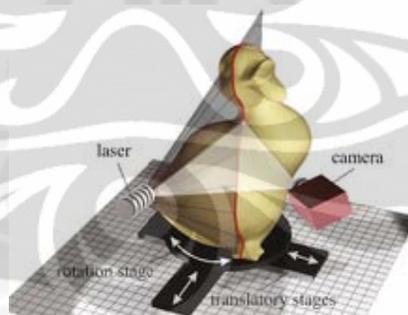
Metode triangulasi laser digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh Kuroda dan Motohashi (1996), maupun Santoro (2002) dengan hasil metode ini cukup akurat untuk digunakan pada pengukuran model studi digital^{15,16} Metode triangulasi laser saat ini menjadi pilihan pada pemindaian model studi ortodonti karena metode ini cukup mudah digunakan dan dapat mendapatkan gambaran obyek dengan jarak yang dekat dengan operator. Sedangkan, metode volumetrik merupakan teknik yang digunakan pada *Computed Tomography* (CT) ataupun *Magnetic Resonance Imaging*(MRI).

Prinsip triangulasi yaitu adanya suatu sinar yang akan mengenai obyek dengan latar obyek berupa titik-titik dengan jarak tertentu. Pantulan dari titik titik tersebut dan jaraknya terhadap benda yang akan ditangkap oleh kamera. Peletakan alat-alat tersebut menyerupai segitiga sehingga disebut triangulasi (gambar 2.1). Pantulan titik-titik yang ditangkap kamera akan

diolah oleh komputer sehingga akan muncul gambaran tiga dimensi di layar komputer. Untuk mendapatkan gambaran tiga dimensi yang sempurna maka pada obyek dilakukan rotasi dan translasi (gambar 2.2).



Gambar 2.1. Prinsip pengukuran triangulasi. (diunduh dari : www.wikipedia.org.)¹⁴



Gambar 2.2. Pergerakan Obyek secara translasi dan rotasi. (diunduh dari : www.wikipedia.org.)¹⁴

Penggunaan laser harus berdasarkan faktor keamanan bagi manusia yang sudah ditetapkan oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC) atau dikenal sebagai IEC 60825. Standar ini digunakan di semua negara kecuali Amerika. Di Amerika digunakan standar CDRH (*Center for Devices and Radiological Health*) di bawah FDA (*Food and Drug Administration*) yang menggunakan kriteria ANSI Z136.1. Pengelompokan laser yang sekarang

digunakan merupakan versi baru IEC tahun 2007, yang dapat dikenali dengan *sticker* yang ditempelkan pada laser, yaitu: ¹⁷

Kelas 1

**CLASS 1 LASER
PRODUCT**

Laser kelas 1 merupakan laser yang aman di bawah kondisi penggunaan normal. Laser kelas 1 dapat menimbulkan bahaya ketika dilihat dengan teleskop atau mikroskop yang cukup besar.

Kelas 1 M

**LASER RADIATION
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH
OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 1M LASER PRODUCT**

Laser kelas 1 M aman untuk semua kondisi penggunaan, kecuali ketika melewati pembesar optik seperti teleskop dan mikroskop.

Kelas 2

**LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO BEAM
CLASS 2 LASER PRODUCT**

Laser kelas 2 aman karena refleks berkedip mata akan membatasi paparan yang biasanya (dengan syarat paparan tidak lebih dari 0.25 detik. Laser ini terlihat oleh mata dengan panjang gelombang 400-700 nm. *Laser pointer* dan alat pengukur dengan basis laser adalah laser kelas 2.

Kelas 2 M

**LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO BEAM
OR VIEW
DIRECTLY WITH OPTICAL**

Laser kelas 2 M aman disebabkan adanya refleks mata, apabila secara tidak sengaja terpapar laser ini. Laser tipe ini sering digunakan dalam pertunjukan sinar laser.

Kelas 3R

**LASER RADIATION
AVOID DIRECT EYE
EXPOSURE
CLASS 3R LASER PRODUCT**

Laser kelas 3R dianggap aman jika ditangani dengan hati-hati, dan tidak melihat sinar secara langsung.

Kelas 3B

LASER RADIATION
AVOID EXPOSURE TO BEAM
CLASS 3B LASER PRODUCT

Laser kelas 3B berbahaya jika terkena mata secara langsung. Kacamata pelindung biasanya diperlukan di mana operator harus melihat secara langsung tampilan sinar laser 3B. Kelas-3B laser harus dilengkapi dengan *switch* kunci dan keselamatan *interlock*.

Kelas 4

LASER RADIATION
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION
CLASS 4 LASER PRODUCT

Kelas 4 adalah kelas tertinggi dan paling berbahaya laser, termasuk semua laser yang melebihi kelas AEL 3B. Menurut definisi, laser kelas 4 dapat membakar kulit, atau menyebabkan kerusakan mata permanen apabila melihat sinarnya secara langsung maupun tidak langsung. Laser kelas 4 harus dilengkapi dengan sistem pengunci dan keselamatan. Laser tipe ini sering digunakan dalam bidang industri, ilmiah, militer, dan medis.

Alat pemindai laser tiga dimensi yang sering digunakan untuk pemindaian model studi adalah *scanner* 3D Minolta (gambar 2.3)¹⁷. Keating dkk, menyatakan bahwa 3D Minolta Vivid 900 ini mempunyai akurasi yang baik bila digunakan untuk pemindaian model studi.¹³ Alat ini juga memiliki kemampuan menangkap gambar dalam kecepatan tinggi.



Measurement Distance	0.6 m–1.0 m (standard mode) 0.5 m–2.5 m (extended mode)
Measurement Area (X, Y, Z)	93 mm x 69 mm x 26 mm to 1495 mm x 1121 mm x 1750 mm
Laser class	Class 2 (IEC 60825-1), Class I (FDA)
Scan Time	2.5 seconds
Accuracy (Under our standard conditions)	TELE XYZ : ±0.05 mm / ±0.10 mm MIDDLE XYZ : ±0.10 mm / ±0.20 mm WIDE XYZ : ±0.20 mm / ±0.40 mm (Distance: 0.6 m/1.0 m) (with user calibration system)

Gambar 2.3. Scanner 3D Minolta Vivid 900. (diunduh dari www.minolta.com.¹⁶)

2.2 Pemindaian kontak tidak langsung pasif

Metode ini mendeteksi cahaya pasif, mempunyai keuntungan berupa biaya yang lebih murah. Penelitian mengenai penggunaan metode kontak tidak langsung pasif untuk pemindaian model studi masih sedikit.

Beberapa metode pemindaian metode ini yaitu :

- Sistem *stereoscopic/stereofotometric* menggunakan 2 video kamera, diletakan terpisah mengamati subyek yang sama. Dengan melakukan analisa perbedaan antara tiap gambaran yang ditangkap kamera, misal penggunaan warna iluminasi maka dimungkinkan untuk menentukan jarak antara tiap titik pada gambar. Metode ini digunakan oleh Ayoub dkk pada penelitian model studi gigi 3D¹¹.
- Sistem *photometric* menggunakan satu kamera tapi mengambil beberapa gambar di bawah cahaya yang berbeda.
- Teknik *silhouette* menggunakan *outline* yang diciptakan dari beberapa rentetan foto dengan latar yang kontras.

Fawzy dkk, memperkenalkan suatu teknik fotografik untuk mendapatkan model studi tiga dimensi digital. Penelitian Fawzy dkk. berupa penggunaan dua buah kamera yang diletakan pada sudut yang berebada, kemudian ditentukan titik-titik referensi pada gigi. Parameter pengukuran adalah pergerakan gigi dengan penggunaan alat ekspansi posterior. Teknik fotografik mampu menggambarkan pergerakan gigi dengan baik dan dapat dijadikan alternatif untuk mendapatkan gambaran 3 dimensi.¹⁹ Akan tetapi, teknik ini hanya mampu menggambarkan perubahan pergerakan gigi, sedangkan akurasi teknik fotografik masih rendah. Hal

ini dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Nur Zarah dkk, menggunakan kamera 2D dan *software* V-ceph dengan hasil penelitian terdapat perbedaan yang signifikan antara model studi konvensional dengan model studi digital.⁶

Penelitian mengenai model studi 3D digital yang saat ini banyak dilakukan berupa model 3D digital hasil pemindai laser (tabel 2.2). Laser yang digunakan dapat berupa pemindai laser yang terhubung dengan kamera, atau pemindai laser yang terhubung video. Kamera ataupun video akan dihubungkan dengan komputer. Jenis pemindai laser 3D yang beredar di pasaran banyak jenisnya dan memiliki fungsi spesifik yang berbeda-beda tergantung dari besarnya alat yang dipindai maupun tujuan pemindaian.

Tabel 2.2. Beberapa metode pengukuran tiga dimensi di bidang orthodonti

Penulis	Tipe scanner	Jenis alat	Pengukuran
Motohashi dan Kuroda (1999)	Laser garis	UNISN 3D VMS 250R	0,00-0,20 mm
Sohmura dkk (2000)	Laser garis	Minolta Vivid 700	0,08-0,35mm
Hirogaki dkk (2001)	Laser garis	Cubespar laser	< 0,3mm
Tomassetti dkk (2001)	Destructive scanner	laser OrthoCad	1,2 mm (Overall Bolton Discrepancy)
Kusnoto dan Evans (2002)	Laser garis	Minolta Vivid 700	x = 0,20 mm z = 0,70 mm
Santoro dkk (2003)	Destructive scanner	laser OrthoCad	0,16-0,49 mm
Bell dkk (2003)	Stereophotogrammetry	Tidak terperinci	0,27 mm

(Sumber : Keating dkk, 2008.¹³)

Motohashi dan Kuroda (2001), melakukan penelitian dengan menggunakan laser garis. Parameter pengukuran berupa pengukuran lebar mesiodistal gigi (jarak antara titik kontak mesial dan distal gigi) pada kasus tidak berjejal. Hasil penelitian berupa perbedaan pengukuran antara pengukuran digital dengan pengukuran manual (menggunakan kaliper digital Mitutoyo) sebesar 0.00-0.20 mm.¹⁵

Penelitian yang dilakukan oleh Asquith J, Gillgrass T, dan Mossey P pada tahun 2007, yaitu membandingkan hasil pengukuran model studi 3D digital dengan model studi konvensional menggunakan kaliper digital Mitutoyo (gambar 2.4). Parameter pengukuran berupa : 1) lebar mesiodistal gigi UR1, LL4, UL6, UR1, LL1 (lebar mesiodistal terbesar dari gigi dan kaliper digital diletakan paralel dengan bidang oklusal); 2) jarak interkaninus rahang bawah (jarak antara *cusp* tip kaninus kanan dan *cusp* tip kaninus kiri); 3) lebar intermolar rahang atas (jarak antara mesiolingual *cusp* tip molar kanan dengan mesiolingual *cusp* tip kiri); 3) lebar lengkung gigi; 4) *overjet*; 5) tinggi mahkota kaninus. Hasil penelitian membuktikan akurasi dari model digital yang cukup baik dengan akurasi tertinggi pada lebar mesiodistal gigi UR1 ($0,16\pm 0,24\text{mm}$), lebar interkaninus ($0,05\pm 0,32\text{mm}$) dan *overjet* ($0,07\pm 0,33\text{mm}$).²⁰



Gambar 2.4. Kaliper digital mitutoyo.(diunduh dari : www.mitutoyo.com.)²¹

2.6. Pengolahan data hasil pemindaian

Hasil pemindaian yang dilakukan pada model studi konvensional akan dimasukkan ke dalam komputer dan dengan *software* tertentu diubah menjadi gambaran tiga dimensi digital yang dapat dilihat oleh operator. *Software* untuk membaca hasil pemindaian ada banyak jenisnya tergantung aplikasi yang akan digunakan. Piranti lunak di bidang animasi dan industri akan berbeda dengan yang digunakan di bidang medis ataupun bidang ortodonti.

Salah satu contoh piranti lunak yang sering digunakan oleh ahli IT adalah 3D Max ataupun Rapid Form.²² Pada bidang ortodonti, piranti lunak ini harus dimodifikasi lagi sehingga selain berguna untuk melihat gigi dari arah oklusal, bukal, maupun frontal, atau disebut sebagai koordinat x, y dan z tetapi juga dapat

digunakan untuk pengukuran mesiodistal, lebar lengkung gigi dan analisis ruangan.

Faverrol dkk, meneliti beberapa metode pengukuran tiga dimensi yang berkembang di Amerika yaitu Orthocad, E-models, Orthoproof, SureSmile, Invisalign dan Libra. Hasilnya bahwa pengukuran dengan metode Orthocad, E-model dan SureSmile memiliki akurasi yang lebih tinggi dan memiliki program analisis model studi yang lebih maju.²³

- **OrthoCAD** (Cadent Inc., New Jersey, US), mengembangkan sistem model digital semenjak tahun 1999. Bentuk digital tiga dimensi diperoleh dari pencetakan model gigi dan pencatatan gigit yang dikirimkan ke laboratorium OrthoCAD. Metode pemindaian pada model studi menggunakan metode *destructive laser scanner* dengan alatnya yang disebut iTero Scanner/OrthoCAD for iOC Scanner.²⁴

Bahan cetak yang dianjurkan untuk digunakan adalah *polyvinylsilicone* (PVS). Sendok cetak yang digunakan adalah sendok cetak sekali pakai dan catatan gigit yang dikirim adalah pada saat sentrik oklusi atau sentrik relasi. OrthoCAD dapat melakukan penyimpanan data selama 14 tahun. Hal ini dilakukan untuk membantu ortodontis bila kehilangan data miliknya.

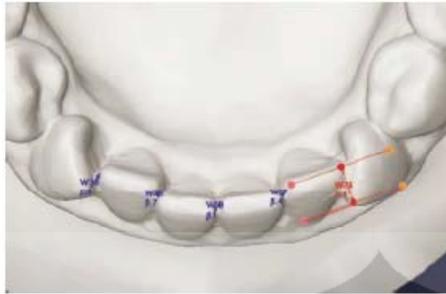
Model gigi digital dikirim dalam waktu 5-7 hari dan langsung diunduh oleh operator menggunakan program milik OrthoCAD. Gigi tersebut dapat dilihat dan dianalisa dari frontal (gambar 2.5), bukal (gambar 2.6), oklusal (gambar 2.7) dan dilakukan pengukuran *overjet*, *overbite* (gambar 2.8).



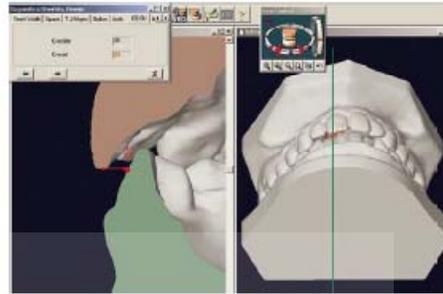
Gambar 2.5. Gambaran frontal.
(diunduh dari : www.orthocad.com)²⁴



Gambar 2.6. Gambaran bukal kanan.
(diunduh dari: www.orthocad.com)²⁴



Gambar 2.7. Gambaran oklusal, gigi yang terletak di luar lengkung dilakukan pengukuran. (diunduh dari : www.orthocad.com)²⁴



Gambar 2.8. Pengukuran overjet dan overbite. (diunduh dari: www.orthocad.com)²⁴

Tomassetti dkk, membandingkan OrthoCAD, analisa HATS, QuickCeph dan kaliper vernier dalam pengukuran mesiodistal gigi dan membuktikan bahwa hasil pengukuran menggunakan OrthoCAD mempunyai akurasi yang baik berada di bawah vernier caliper dan HATS.²³ Penelitian ini diperkuat oleh Zilberman dkk, yang menyatakan bahwa OrthoCAD mempunyai akurasi yang baik dan dapat digunakan secara klinis.¹¹ Sedangkan Leifert dkk, membandingkan hasil analisis kebutuhan ruang antara model studi konvensional dengan model studi digital (OrthoCAD), dan mendapatkan hasil analisis kebutuhan ruang pada model studi digital mempunyai akurasi sebaik metode konvensional.²⁶

Delstra dan Melsen melakukan tes untuk melihat akurasi bahan cetak yang digunakan untuk pengiriman model studi dengan menggunakan bahan cetak yang dianjurkan oleh OrthoCAD yaitu *polyvinylsilicone* (PVS), sebanyak 12 cetakan. Masing-masing cetakan diberikan tiga perlakuan dengan cara dua set langsung dicor dan satu set dikirim dan diminta dilakukan pengiriman kembali setelah dilakukan pengecoran oleh OrthoCAD. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa bahan cetak PVS stabil dan sedikit mengalami distorsi saat pengiriman.²⁷

Alcan T dkk, meneliti kestabilan bahan alginate Cavex (Holland BV), Orthoprint (Italy) dan Tropichalgin (Zhermack) paska dilakukan pencetakan dan mendapatkan hasil bahwa ketiga bahan tersebut stabil dan tidak mengalami perubahan yang bermakna setelah 4 hari disimpan dalam plastik yang tertutup rapat.²⁸

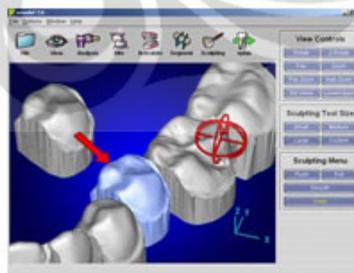
- **E-models** dikembangkan oleh GeoDigm Corporation di Amerika tahun 2001. Sistem pemindaian menggunakan cara pemindai laser garis (*line laser scanner*).²⁹ Bahan cetak yang direkomendasikan Triphasix™.

E-models yang paling terakhir diluncurkan adalah versi 8.0. E-models dapat digunakan untuk mengukur lebar gigi, lebar lengkung gigi, overbite, overjet, dan diskrepansi lengkung gigi. (gambar 2.9, 2.10, 2.11) Pembuatan catatan gigit pada posisi CR, CO dan lateral dapat digunakan untuk analisa posisi mandibula.

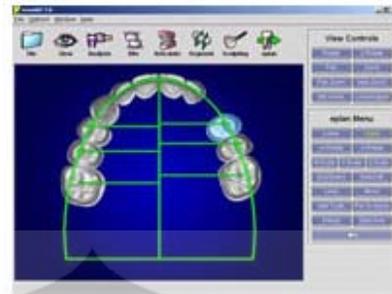
Salah satu kelebihan E-model adalah adanya program *E-plan digital set-up*, yaitu suatu program yang dapat digunakan untuk memindahkan, merotasi, mengubah ukuran gigi ataupun melakukan ekstraksi gigi. E-plan dapat digunakan untuk menampilkan beberapa rencana perawatan secara *side by side* (berdampingan).²⁹



Gambar 2.9. Pandangan dari oklusal. (diunduh dari www.geodigmcorp.com)²⁷



Gambar 2.10. Gigi dimasukkan dan dikeluarkan dari lengkung gigi. (diunduh dari www.geodigmcorp.com)²⁷



Gambar 2.11. Gambaran oklusal, melihat kesimetrisan lengkung gigi. (diunduh dari www.geodigmcorp.com)²⁷

Steven dkk., pada tahun 2004 menganalisa validitas, realibilitas dan reproduksibilitas PAR indeks dan analisa Bolton dari E-model menggunakan 24 subyek dengan 8 kriteria malokulasi berupa (1) maloklusi kelas I, crowding <4mm, non ekstraksi, (2) maloklusi kelas I, crowding 4,1-8mm, *borderline* ekstraksi, (3) MO kelas I crowding >8mm, ekstraksi, (4) MO kelas II div 1, crowding <5mm, (5) MO kelas II div 1, crowding >5mm, (6) diskrepansi anteroposterior skeletal kelas II atau kelas III, (7) deep overbite, dan (8) diskrepansi transversal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa E-model mempunyai validitas, realibilitas dan reproduksibilitas sebaik model konvensional.²⁸

Penelitian ini diperkuat oleh Mullen dkk. yang menggunakan 30 model studi paska perawatan ortodonti untuk dilakukan pengukuran mesio distal gigi berupa lebar mesiodistal terbesar yang diukur tegak lurus bidang oklusal menggunakan kaliper digital S225 Fowler sedangkan pada model studi digital diukur dengan menarik dua titik referensi pada mesial dan distal gigi (gambar 2.12). Hasil pengukuran mesio distal gigi digunakan untuk analisis Bolton. Hasilnya terdapat perbedaan sebesar $0,05 \pm 1,87$ mm pada analisis Bolton antara model studi konvensional dengan E-model. Hasil ini tidak bermakna secara signifikan dan masih dalam kategori akurat.³¹



Gambar 2.12. Pengukuran menggunakan kaliper digital dan pengukuran secara digital.
(sumber : Mullen dkk)³¹

Whetten dkk. (2006), menggunakan E-plan untuk perencanaan perawatan pasien dengan kasus kelas II dan menemukan hasil bahwa perencanaan perawatan dengan model studi manual dan digital tidak berbeda bermakna.³²

- **SureSmile** (OraMatrix, Dallas), memulai proses pemindaian langsung kepada pasien dengan menggunakan alat yang disebut *oromatrix/oroscanner*.³³

Oromatrix merupakan alat pemindai tiga dimensi yang langsung diarahkan ke gigi yang belum ataupun sudah terpasang braket.(gambar 2.13a). Pemindaian dapat juga dilakukan dengan menggunakan CBCT (gambar 2.13b).



Gambar 2.13a.Oromatrix.

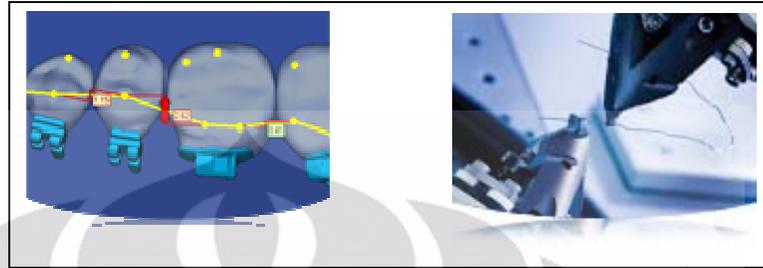


Gambar 2.13b.Hasil CBCT.

(diunduh dari : www.suresmile.com)³³

Sure smile mengembangkan penggunaan *robot aided wire* yaitu pembuatan kawat berbahan NiTi yang dilakukan oleh bantuan robot sesuai dengan hasil pemindaian pada pasien yang sudah menggunakan braket. Bentuk kawat yang diinginkan ditentukan oleh operator (ortodontis),

sehingga seorang ortodontis tidak perlu melakukan tekukan pada kawat sendiri melainkan dilakukan oleh robot(gambar 2.14).³³

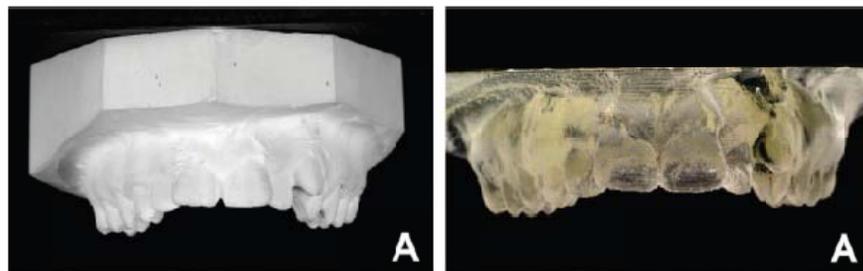


Gambar 2.14. Robot aided NiTi Wire. (diunduh dari : www.suresmile.com)³³)

Model gigi yang berformat digital dikirimkan kembali ke klien dalam waktu ± 7 hari. Model gigi digital ini kemudian diolah ke dalam *software* yang sebelumnya sudah diunduh terlebih dahulu oleh ortodontis. Pengelolaan data ini membutuhkan cara tertentu dan penguasaan yang cukup dari operator. Pada umumnya produsen menyediakan fasilitas pelatihan sebelum menggunakan sistem pengolahan 3 dimensi ini.

2.7 Stereolithografi

Data yang sudah tersimpan di dalam komputer dapat dibuat model studi nyata lagi dengan format *stereolithography*. *Stereolithography* adalah salah satu jenis teknologi *rapid prototyping*. Teknik ini mengubah *computer aided designs* (CAD) menjadi obyek padat dengan kombinasi laser, *photochemistry* dan teknologi *software*. Model yang dihasilkan dari *stereolithography* adalah model yang terbuat dari *hybrid epoxy-based resin* atau *UV-curable photopolymer "resin"* cair (gambar 2.15).³⁴



Gambar 2.15. Model gigi hasil stereolithografi. (Sumber : Keating dkk, 2008)¹³

Penelitian yang dilakukan oleh Keating dkk, memberikan hasil bahwa model gigi hasil *stereolithography* memiliki perbedaan yang tidak signifikan pada bidang x (transversal) dan y (anteroposterior), tetapi untuk bidang z (cervikooklusal, kedalaman palatum) memiliki sedikit perbedaan dengan model gigi awal. Model gigi hasil stereolithografi yang berwarna transparan juga menyebabkan pengukuran pada model studi stereolithografi menjadi lebih sulit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Keating dkk., model studi stereolithografi yang digunakan hanya satu dikarenakan harga pembuatan model ini yang mahal.¹⁰

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai stereolithografi untuk mendapatkan keakuratan hasil. Penelitian juga dapat dilakukan pada metode *rapid prototyping* jenis lain seperti *poly jet modelling*, *single jet modelling* atau *multi jet modelling*.³⁴

2.8 Keuntungan dan kerugian model studi 3 dimensi digital

Model studi tiga dimensi digital mempunyai keuntungan berupa :

- memperoleh data yang mempunyai akurasi sama dengan model gigi konvensional.
- memberi gambaran perubahan gigi secara visual kepada pasien.
- memudahkan interaksi sesama kolega.
- mudah penyimpanan atau dapat meminimalkan kebutuhan ruang penyimpanan.
- memudahkan transfer informasi dengan berbagai klinik.
- model dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama tanpa terjadinya kerusakan.
- pada beberapa teknologi dapat dibuat lagi menjadi model cetakan asli bila dibutuhkan.²⁶
- memiliki waktu yang lebih cepat bila digunakan untuk melakukan set up pada gigi dibandingkan melakukan set-up manual.¹⁵

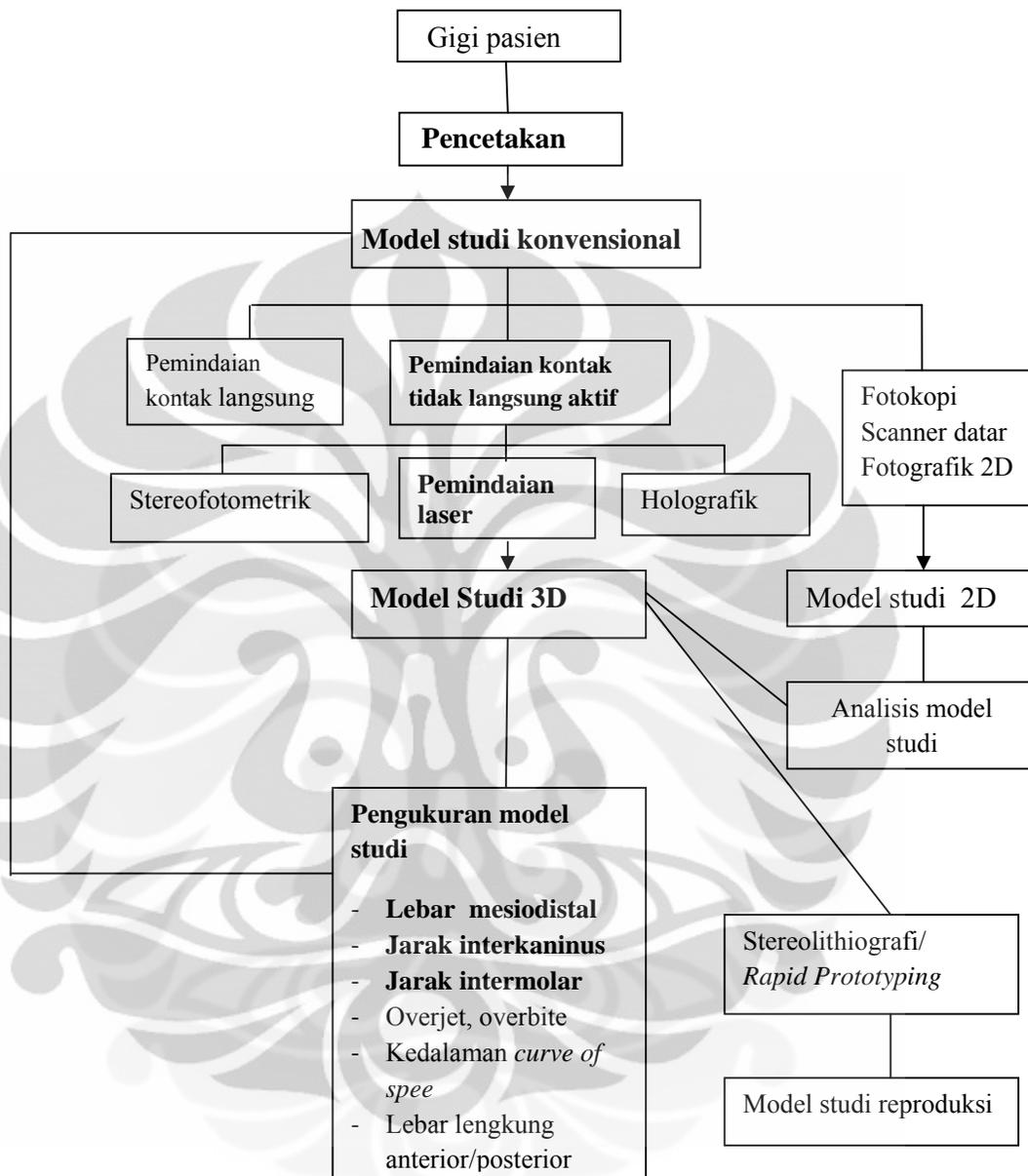
Kelemahan teknologi ini yaitu :

- dibutuhkan keahlian dari operator untuk mengolah data dengan tepat termasuk menentukan titik referensi yang tepat pada gambar.

- dibutuhkan komputer dengan kapasitas penyimpanan yang besar terutama bila menggunakan model studi digital dari OrthoCAD.
- belum dapat digunakan secara maksimal untuk kepentingan penelitian.¹⁹



2.9 Kerangka Teori



Keterangan:

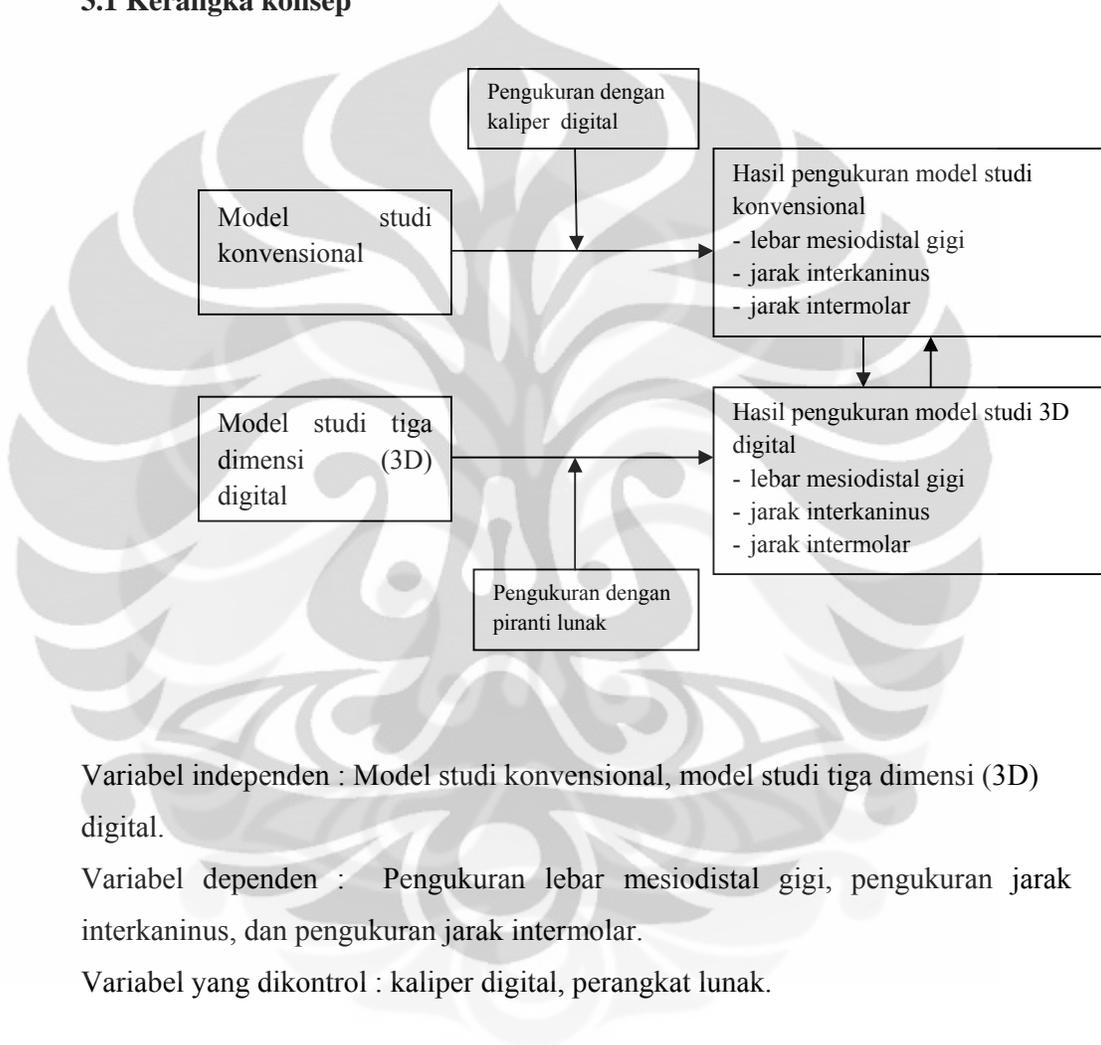
Pada gigi pasien dilakukan pencetakan untuk mendapatkan model studi konvensional. Model studi konvensional dapat digunakan langsung untuk pengukuran lebar mesiodistal, lebar interkaninus dan jarak intermolar. Model studi konvensional dilakukan pemindaian dengan laser menggunakan metode tidak langsung pasif dan dimasukkan ke dalam komputer menggunakan *software* tertentu untuk mendapatkan model 3D digital. Model studi 3D digital yang terdapat pada komputer digunakan untuk pengukuran lebar mesiodistal, lebar interkaninus dan jarak intermolar.

BAB 3

KERANGKA KONSEP, HIPOTESIS

DEFINISI OPERASIONAL

3.1 Kerangka konsep



Variabel independen : Model studi konvensional, model studi tiga dimensi (3D) digital.

Variabel dependen : Pengukuran lebar mesiodistal gigi, pengukuran jarak interkaninus, dan pengukuran jarak intermolar.

Variabel yang dikontrol : kaliper digital, perangkat lunak.

3.2 Hipotesis

Ho =

1. Tidak ada perbedaan pada hasil pengukuran lebar mesiodistal gigi antara model studi tiga dimensi digital dengan model studi konvensional.
2. Tidak ada perbedaan pada hasil pengukuran jarak interkaninus antara model studi tiga dimensi digital dengan model studi konvensional.

3. Tidak ada perbedaan pada hasil pengukuran jarak intermolar antara model studi tiga dimensi digital dengan model studi konvensional.

3.3 Definisi operasional

Variabel	Definisi Operasional	Cara mengukur	Skala
Lebar mesio distal gigi pada model studi konvensional.	Lebar tiap gigi dari molar 1 kanan sampai molar 1 kiri pada lengkung gigi atas dan lengkung gigi bawah yang ditentukan dari titik tercembung sisi mesial maupun distal gigi pada model studi konvensional (ditandai menggunakan pena merah 0,2).	Menggunakan kaliper digital yang diletakan paralel dengan bidang oklusal dan diukur jarak mesiodistal gigi.	Numerik
Lebar mesio distal gigi pada model studi 3D digital.	Lebar tiap gigi dari molar 1 kanan sampai molar 1 kiri pada lengkung gigi atas dan lengkung gigi bawah yang ditentukan dari titik tercembung sisi mesial maupun distal gigi pada model studi 3D digital (terlihat titik merah yang dibuat dengan pena).	Mengukur jarak antar titik referensi (titik merah) dari titik tercembung sisi mesial ke distal pada model 3D digital menggunakan <i>software</i> pengukur.	Numerik
Lebar intercaninus pada model studi konvensional.	Jarak antara <i>cusp</i> tip caninus kanan ke <i>cusp</i> tip caninus kiri pada lengkung gigi atas maupun lengkung gigi bawah pada model studi konvensional (ditandai menggunakan pena merah 0,2).	Menggunakan kaliper digital yang diletakan paralel dengan bidang oklusal gigi.	Numerik

Lebar intercaninus pada model studi 3D digital.	Jarak antara <i>cusp</i> tip caninus kanan ke <i>cusp</i> tip caninus kiri pada lengkung gigi atas maupun lengkung gigi bawah pada model studi 3D digital (terlihat titik merah yang dibuat dengan pena).	Mengukur jarak antar titik referensi (titik merah pada <i>cusp</i> tip caninus) pada model 3D digital menggunakan <i>software</i> pengukur.	Numerik
Lebar intermolar model studi konvensional	Jarak antara <i>cusp</i> tip mesiobukal molar pertama kanan ke <i>cusp</i> tip mesiobukal molar pertama kiri pada model studi konvensional (ditandai menggunakan pena merah 0,2).	Menggunakan kaliper digital yang diletakan paralel dengan bidang oklusal gigi.	numerik
Lebar intermolar pada model studi 3D digital.	Jarak antara <i>cusp</i> tip mesiobukal molar pertama kanan ke <i>cusp</i> tip mesiobukal molar pertama kiri pada model studi 3D digital (terlihat titik yang berwarna merah).	Mengukur jarak antar titik referensi berwarna merah pada model 3D digital menggunakan <i>software</i> pengukur.	numerik

3.4 Definisi konsep

- Model studi konvensional : model studi tiga dimensi yang berbentuk nyata.
- Model studi 3D digital : model studi konvensional yang telah diterjemahkan dalam bentuk 3D digital dan dapat dilihat dengan program pada komputer.

BAB 4 METODE PENELITIAN

4.1 Desain dan Jenis Penelitian

Desain penelitian berupa penelitian eksperimental.

4.2 Waktu dan tempat penelitian

Perancangan program dan pemindaian laser dilakukan di Lab Sistem Kendali dan Komputer, Sekolah Teknik Elektro Informatika, Institut Teknologi Bandung (LSKK, STEI, ITB).

Penghitungan, pengolahan dan analisa data dilakukan di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia (FKG UI).

Waktu Penelitian : November 2011-Maret 2012

4.3 Populasi subyek penelitian

Populasi : cetakan gigi pasien paska perawatan ortodonti dari Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia.

4.4 Besar sampel :

Rumus yang digunakan :

$$N = 2 \left[\frac{(Z_{\alpha} + Z_{\beta})S}{X_1 - X_2} \right]^2$$

Keterangan :

Z_{α} = kesalahan tipe I yaitu 1,96

Z_{β} = kesalahan tipe II yaitu 1,645

S = standar deviasi yaitu 0,2 (Keating)¹³

$X_1 - X_2$ = selisih minimal yang bermakna yaitu 0,3

(rumus analitik numerik tidak berpasangan, kesalahan 5%)

$$N = 2 \left[\frac{(1,96 + 1,645) 0,2}{0,3} \right]^2 = 11,52 \text{ (minimal 12)}$$

4.5 Sampel

Sampel sebanyak 12 model studi, berupa model studi paska perawatan ortodonti yang memiliki hubungan molar kelas I.

Kriteria inklusi :

- morfologi gigi geligi normal.
- gigi geligi pada model studi tidak mengalami kerusakan ataupun porus.
- tidak terdapat tambalan kelas II.

4.6 Bahan dan alat

Bahan :

1. Exaflex (bahan cetak).
2. Stone putih.
3. Model studi paska perawatan ortodonti.

Alat :

1. Serangkaian alat pemindai laser 3D (buatan kerjasama Departemen ortodonti FKGUI dengan STEI ITB), yang terdiri dari *laser pointer* yang dimodifikasi menjadi laser garis, motor dengan komponen listrik yang berfungsi menggerakkan laser secara otomatis, kamera, meja kecil untuk meletakkan gigi.
2. 1 set komputer (monitor, mouse, keyboard).
3. *Software* 3D.
4. Kaliper digital merk mitutoyo dengan ketelitian 0,01mm.
5. Seperangkat alat tulis.
6. Pena 0,2 mm warna merah.
7. *Semen spatle* dan *mixing slab*.

4.7 Tahapan Penelitian

1. Perencanaan dan perancangan sistem pemindaian.
2. Implementasi sistem.
3. Penentuan titik referensi pada studi model untuk mendapatkan konsistensi pengukuran.

4. Pengukuran lebar mesio-distal gigi $\frac{65321}{65321} \mid \frac{12356}{12356}$,

pengukuran jarak intercaninus lengkung gigi atas dan lengkung gigi bawah, dan pengukuran jarak intermolar lengkung gigi atas dan lengkung gigi bawah pada tiap model studi konvensional menggunakan kaliper digital mitutoyo.

5. Pengukuran lebar mesio-distal gigi $\frac{65321}{65321} \mid \frac{12356}{12356}$,

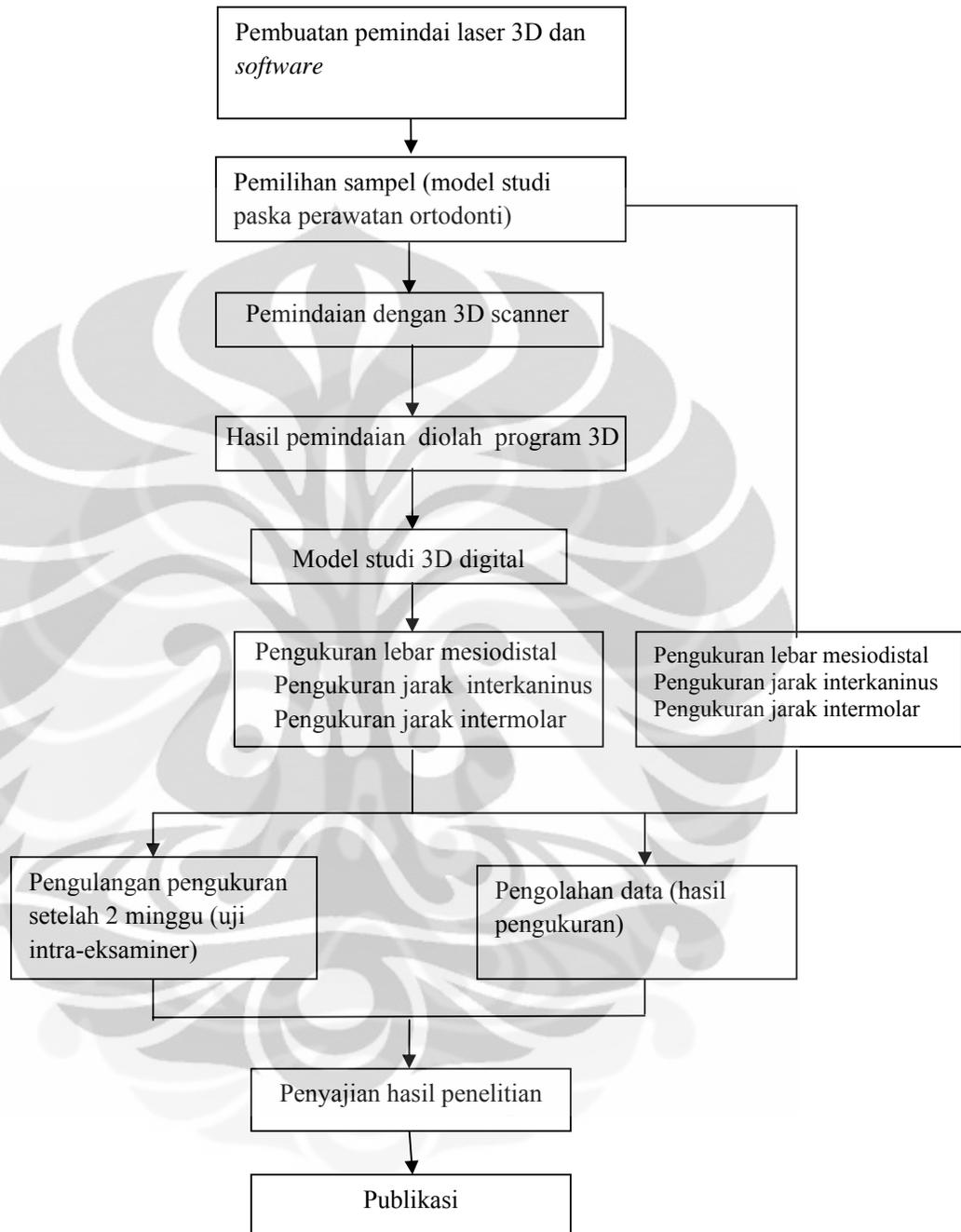
pengukuran jarak intercaninus lengkung gigi atas dan lengkung gigi bawah, dan pengukuran jarak intermolar lengkung gigi atas dan lengkung gigi bawah pada model studi 3D digital. Pengukuran dengan menarik garis dari titik referensi yang telah ditentukan (berupa titik merah).

6. Pengujian intra-eksaminer dilakukan dengan melakukan pengulangan pengukuran pada 3 model studi konvensional maupun model studi digital yang dilakukan minimal 2 minggu setelah pengukuran awal. 3 model studi yang diukur merupakan 20% dari sampel, sesuai penelitian yang dilakukan oleh Stevens, 2006.²⁸
7. Pengolahan data hasil pengukuran menggunakan SPSS.

Analisis Data

- o Tes untuk melihat sebaran data : Shapiro-Wilk (data di bawah 50) dan Kolmogorov-Smirnov (jumlah data di atas 50).
 - o Intra-eksaminer menggunakan T-test berpasangan.
 - o Validitas : bila sebaran data tidak normal : Mann-Whitney., sebaran data normal : T-test tidak berpasangan.
8. Pelaporan hasil keseluruhan penelitian.
9. Publikasi.

4.8 Alur Penelitian



Bab 5

HASIL PENELITIAN

Penelitian dilakukan dari bulan November 2011 sampai Maret 2012. Pemindai laser yang digunakan mengalami tiga kali perubahan. Pada awal penelitian yaitu bulan November 2011, peneliti menggunakan serangkaian pemindai laser 3D yang lasernya dioperasikan secara manual yaitu dengan cara menggerakkan laser *pointer* yang telah dimodifikasi menjadi laser garis, untuk kemudian digerakan dengan menggunakan tangan. Metode ini mempunyai kelebihan dapat mengulang area pemindaian bila terdapat area yang belum terpindai (*blind spot*). Kelemahan metode ini adalah tidak efisien, terutama bila model studi yang dipindai banyak. Laser yang digunakan tipe 1 dengan panjang gelombang $\lambda=620\text{nm}$. Laser tipe 1 merupakan golongan laser yang aman untuk manusia. Merk kamera yang digunakan adalah Logitech dengan resolusi 640x480. Komputer yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut *processor* setara Core2Duo 2.0 Ghz, memiliki memori minimal 2GB, *hard disk* 40GB, VGA, mempunyai *connector* USB dan menggunakan *operating system* Windows 7.

Pada bulan Desember 2011, dilakukan perubahan pertama yaitu dengan mengubah pemindai laser yang manual menjadi otomatis dengan menggunakan motor penggerak laser, motor ini diatur oleh sebuah komponen listrik. Tujuan perubahan pemindai laser menjadi otomatis adalah meningkatkan efektifitas kerja dari operator. Waktu pemindaian yang digunakan adalah 5 menit untuk tiap kali memindai. Arah pemindaian yang dilakukan adalah secara vertikal dari atas ke bawah kemudian berotasi 45° dan -45° . Kamera yang digunakan masih menggunakan berupa kamera merk Logitech dengan resolusi 640x480. Peneliti mencoba melakukan pengukuran pada satu pasang sampel dan mendapatkan hasil selisih antara pengukuran menggunakan kaliper digital dengan pengukuran pada model studi digital terdapat perbedaan yang cukup besar yaitu lebih dari 2 mm. Peneliti memperkirakan hal ini disebabkan detail gigi yang kurang baik terutama di area interproksimal akibat penggunaan resolusi kamera yang kecil.

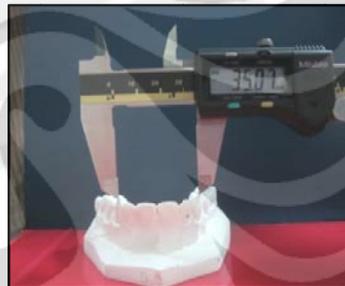
Pada bulan Januari 2012, peneliti melakukan perubahan yang kedua pada serangkaian alat pemindai laser yaitu dengan mengubah kecepatan pemindai laser

menjadi 2 menit untuk tiap kali memindai dengan tujuan meningkatkan efisiensi waktu dan melakukan perubahan pada kamera dengan cara mengganti kamera Logitech resolusi 640x480 dengan kamera yang memiliki resolusi yang lebih tinggi, yaitu kamera Logitech HD-Ready dengan resolusi 720 pixel. Hasil gambaran 3D yang diperoleh menjadi lebih baik dan detail gigi terlihat lebih jelas.

Pada bulan Januari 2012, semua model studi (12 pasang) dibuat titik referensi dengan menggunakan pena merah 0,2 pada mesiodistal gigi, *cusp* gigi caninus dan mesiobukal *cusp* gigi molar (Gambar 5.1). Pengukuran lebar mesiodistal, jarak interkaninus dan jarak intermolar dilakukan untuk pertama kali menggunakan kaliper digital mitutoyo dengan ketelitian 0,01mm yang diletakan tegak lurus bidang oklusal (Gambar 5.2).



Gambar 5.1 Model studi yang sudah diberi titik referensi berwarna merah.

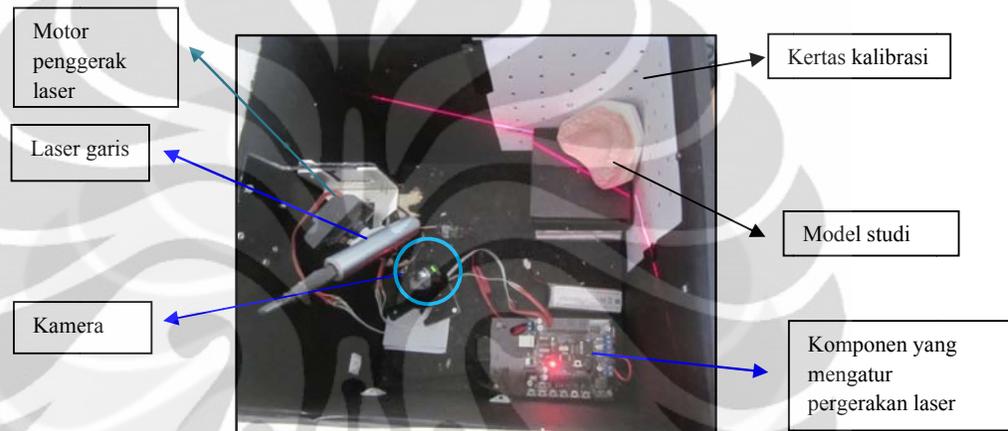


Gambar 5.2 Pengukuran menggunakan kaliper digital. Kaliper digital diletakan tegak lurus dengan permukaan oklusal gigi.

Perubahan pada alat pemindai yang ketiga dilakukan pada bulan Maret 2012, yaitu dengan mengganti kamera Logitech resolusi 720 pixel menjadi kamera Logitech Full-HD 525 resolusi 1280 pixel yang memiliki fitur makro (gambar 5.3). Kamera ini mampu mendapatkan hasil yang lebih optimal dibandingkan kamera yang telah digunakan sebelumnya karena memiliki fitur makro, *auto-focus* dan resolusi yang lebih tinggi. Pada laser, kecepatan diperlambat dan arah pergerakan laser hanya 2 kali yaitu ke arah bawah satu kali dan ke arah atas satu kali dengan waktu pemindaian 2 menit (gambar 5.4).

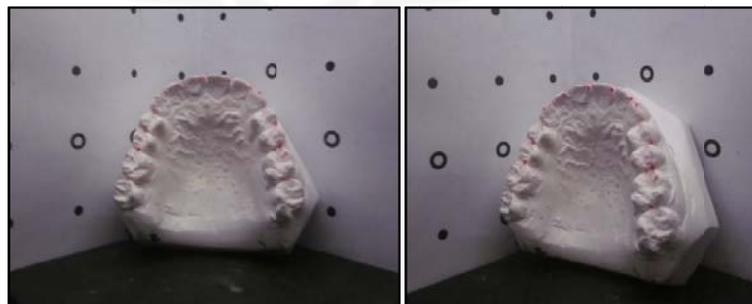


Gambar 5.3 Logitech HD webcam 525 dan laser pointer yang sudah dimodifikasi menjadi laser garis.

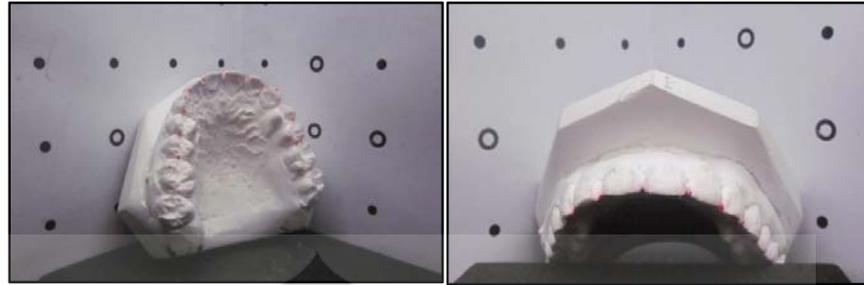


Gambar 5.4 Rangkaian alat pemindai laser 3D yang sedang melakukan pemindaian. Alat terdapat di dalam kotak hitam dengan ukuran $29 \times 27,5 \text{ cm}^2$.

Letak model studi dilakukan beberapa perubahan mulai dari berubah 90° , 45° dan 30° , dari tiap perubahan sudut dicoba dilakukan penggabungan gambar (*stitching*). Dari tiap perubahan didapatkan hasil bahwa perubahan letak gigi dengan sudut sekitar 30° mendapatkan gambaran 3D yang paling baik. Perubahan yang lebih besar menyebabkan kesulitan saat melakukan penggabungan gambar (gambar 5.3, 5.4, 5.5, 5.6).



Gambar 5.5 Posisi awal saat pemindaian dan posisi 30° ke kanan (dilihat dari arah operator).



Gambar 5.6 Posisi model studi digeser 30° ke kiri dan perubahan vertikal (dilihat dari arah operator).

Pada penelitian ini, fokus penelitian masih terbatas menciptakan pemindai laser 3D yang mudah digunakan dan dikhususkan untuk pemindaian model studi. Peneliti belum menciptakan piranti lunak versi Indonesia dikarenakan adanya keterbatasan waktu penelitian (untuk mendapatkan *software* yang sempurna diperkirakan butuh waktu lebih dari 1 tahun). Oleh karena itu, peneliti menggunakan *software* “David laser scanner”. *Software* ini dianggap cukup untuk mendapatkan data penelitian yang dibutuhkan pada penelitian ini, yaitu gambaran titik referensi mesiodistal gigi dan titik pada *cusp* gigi caninus maupun titik pada *cusp* mesiobukal molar. *Software* “David Laser Scanner” digunakan sebagai contoh pembandingan (*benchmark*) untuk diciptakannya *software* baru.

Pada awal penggunaan, operator harus melakukan pengaturan/*setting software* terlebih dahulu. Pengaturan ini cukup satu kali saat operator pertama kali memperoleh *software* dari produsen. Pada penggunaan selanjutnya pengaturan tidak perlu dilakukan kembali. Cara pengaturan *software* “David Laser Scanner” adalah sebagai berikut:

- a) Tahap pengaturan/pemilihan kamera.

Pada kolom *hardware setup* terdapat pilihan kamera yang akan digunakan.

Pada penelitian ini dipilih webcam 525 (gambar.a):



Gambar a. Pemilihan jenis kamera.

b) Tahap pemilihan resolusi.

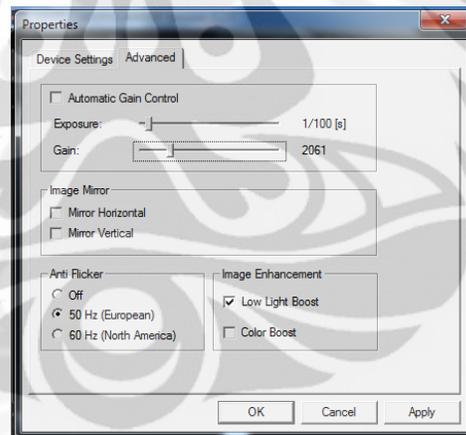
Pemilihan resolusi, bertujuan untuk menentukan ketajaman gambar yang diambil oleh kamera. Semakin tinggi nilai resolusi semakin tajam gambar yang diperoleh, tetapi juga semakin besar memori yang dibutuhkan untuk menyimpan gambar.



Gambar b. Pemilihan resolusi.

c) Tahap *Setting Advanced*

Pada *setting advanced* dilakukan pengaturan pencahayaan :

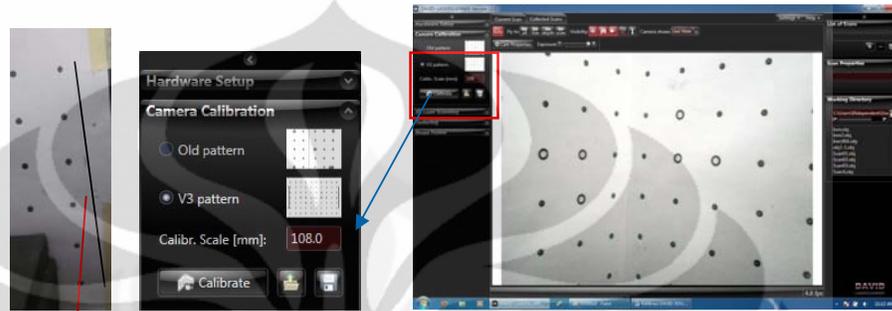


Gambar c. Kolom pengaturan *exposure* (pada kotak merah)

(model studi yang diletakan dalam kotak hitam, pada saat pemindaian ditutup, akan tetapi pada saat pengambilan tekstur maka tutup kotak dibuka karena dibutuhkan pencahayaan dari luar. Apabila intensitas cahaya dari luar kecil atau kurang terang maka *exposure* harus ditambah agar gambar yang diambil lebih jelas.)

d) Tahap kalibrasi.

Metode kalibrasi dengan cara mengukur panjang garis kalibrasi yang ada pada kertas menggunakan penggaris, kemudian memasukan nilai tersebut pada kolom nilai skala kalibrasi (*calibration scale*). Tekan tombol *Calibrate* hingga muncul dialog *Calibration Successful*:

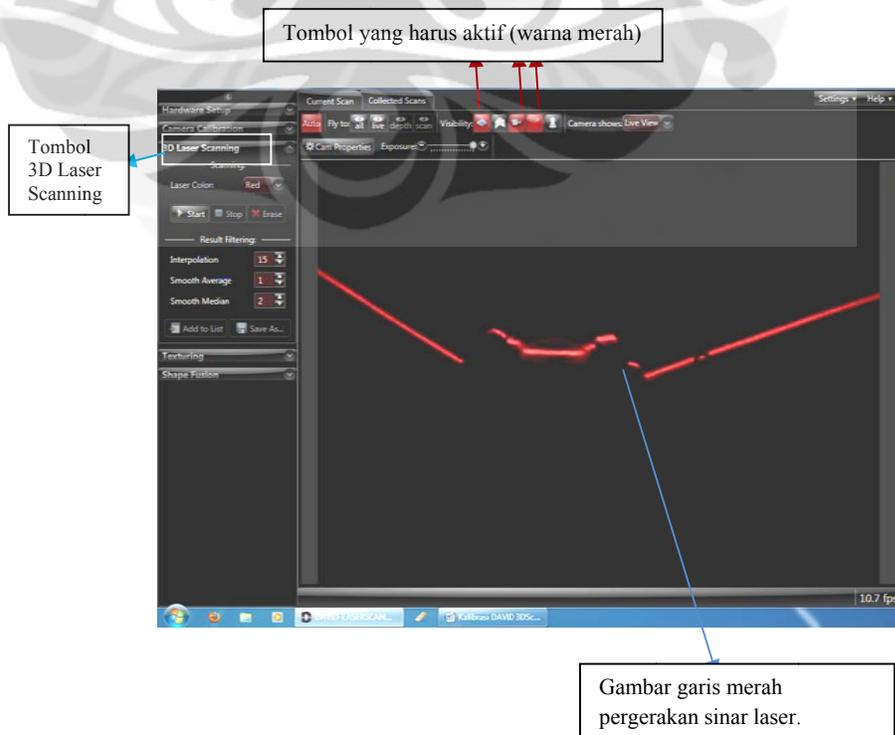


Panjang garis kalibrasi.

Gambar d. Metode kalibrasi.

e) Tahap pemindaian.

Apabila *setting* dan kalibrasi sudah selesai maka dapat dilakukan pemindaian dengan cara memilih tombol 3D Laser Scanning, kemudian pemindai laser dinyalakan, konfigurasi tombol-tombol sesuai dengan gambar dibawah, hingga didapatkan hasil seperti gambar berikut:

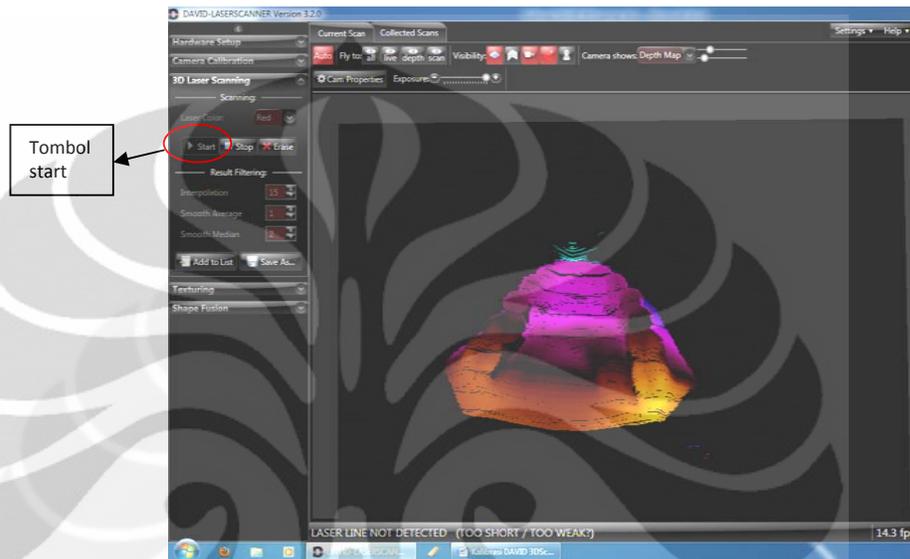


Tombol
3D Laser
Scanning

Tombol yang harus aktif (warna merah)

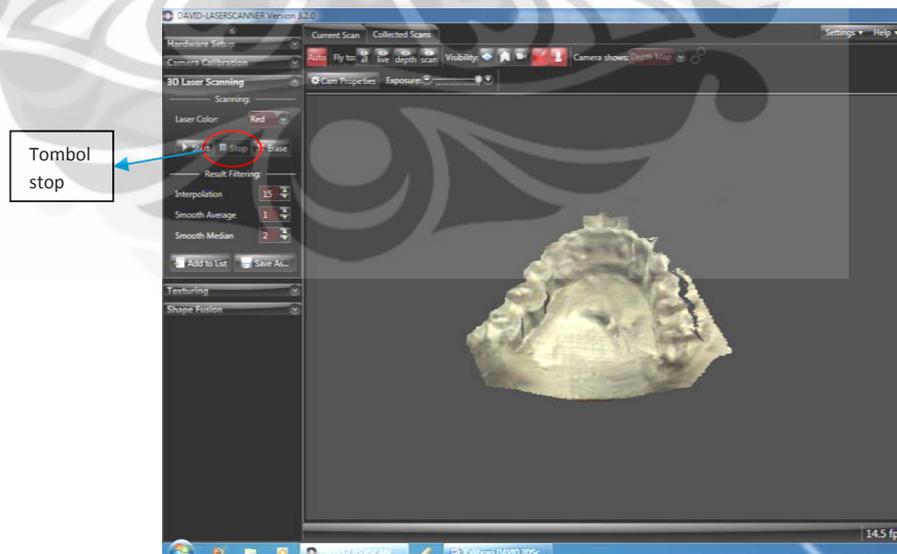
Gambar garis merah
pergerakan sinar laser.

- f) Tekan tombol *Start* untuk memulai pemindaian model studi. Pemindaian berlangsung otomatis, dan akan berhenti sesuai dengan waktu yang telah ditentukan oleh operator (pada penelitian ini waktu pemindaian 2 menit).



Gambar f. Hasil pemindaian yang berupa data mentah.

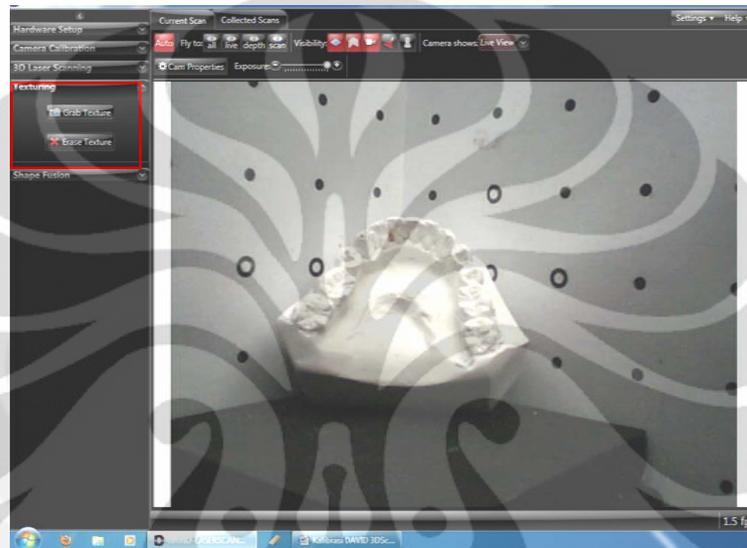
- g) Apabila proses *scanning* telah selesai maka, pilih tanda *Stop*. Berikut hasil objek yang telah dipindai:



Gambar g. Hasil pemindaian yang belum diberi tekstur/warna.

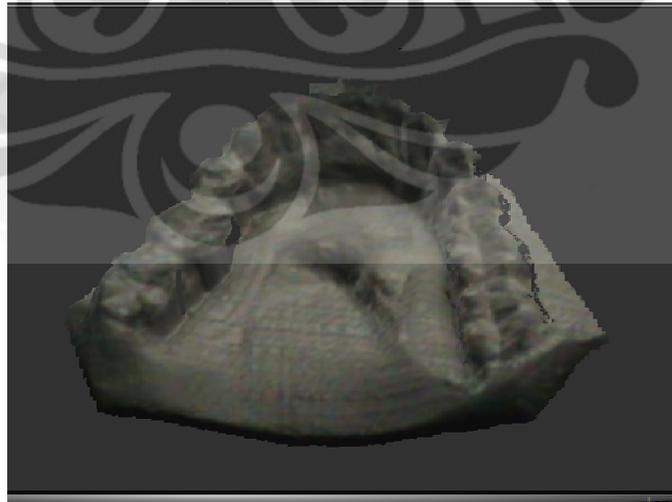
h) Tahap pemberian tekstur/warna.

Tekan tombol *Texturing* untuk mengambil warna/tekstur dari objek yang telah dipindai. *Texturing* bertujuan untuk memberi warna hasil pemindaian sesuai dengan warna model aslinya. Apabila tidak dilakukan *texturing* maka warna yang keluar adalah putih/hijau/biru, tergantung warna pada *software*, dan titik penanda referensi tidak terlihat.:



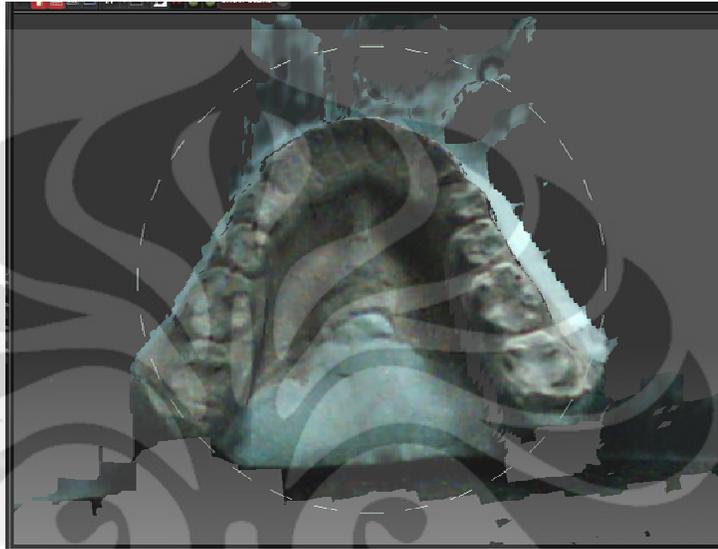
Gambar h. Pengambilan tekstur.

i) Berikut contoh hasil akhir dari objek yang telah dilakukan pemindaian:



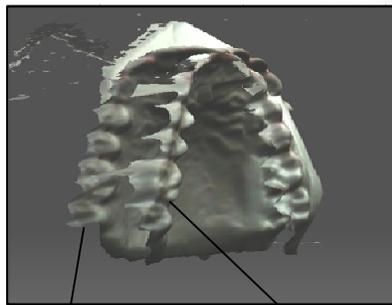
Gambar i.1. Hasil pemindaian setelah diberi tekstur.

(model studi dengan warna gigi yang berbeda dengan basis, misalnya warna gigi yang berwarna merah muda/biru/kuning dengan basis berwarna putih akan terlihat lebih kontras dengan detail yang lebih baik.)



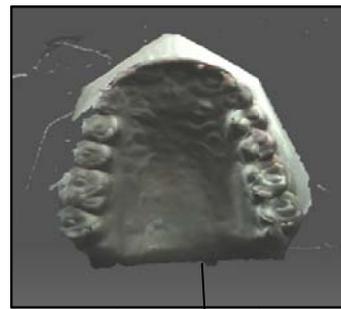
Gambar i.2 Hasil pemindaian dengan model studi dengan gigi yang berwarna merah muda dan basis berwarna putih.

- j) Pengukuran menggunakan *measuring rule* (*software* di komputer yang berfungsi seperti penggaris/alat pengukur).
- k) Pengukuran dilakukan setelah dilakukan kalibrasi (ctrl+shift+s) berupa pengukuran jarak pada intermolar dengan menggunakan kaliper digital untuk kemudian dikalibrasi dengan jarak intermolar pada model digital.
- l) Pengukuran dengan menekan ctrl+shift+a.
- m) Selesai.
- n) Penyatuan gambar (*Stitching*).

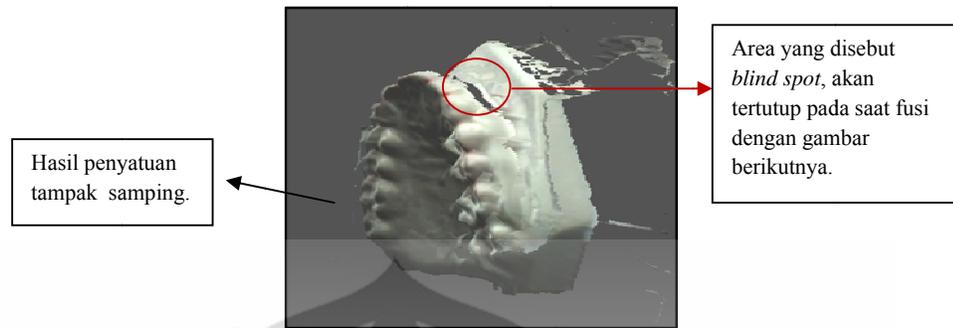


Hasil pemindaian 1

Hasil pemindaian 2 (30°)



Hasil penyatuan tampak oklusal



Hasil pengukuran model studi konvensional dan digital disimpan pada Microsoft Excel 2007 dan dianalisa menggunakan SPSS versi 16.0. Semua jenis data pengukuran berupa hasil pengukuran secara manual, hasil pengukuran secara digital, dan selisih antara penghitungan manual dan penghitungan digital dibuat dalam bentuk tabel (Lampiran 1,2,3, hal.61-65).

Pada data hasil pengukuran dilakukan penghitungan nilai rata-rata (*mean*), nilai minimum, nilai maksimum dan standar deviasi dari tiap jenis pengukuran gigi dan selisih antara manual dan digital (Lampiran 4,5, hal. 66-68). Uji Shapiro-Wilks digunakan untuk melihat distribusi normalitas data bila jumlah data < 50 , dan uji Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk melihat distribusi normalitas data bila jumlah data >50, uji ini dilakukan pada hasil pengukuran manual dan digital (lampiran 7, hal.69). Uji Levene digunakan untuk melihat homogenitas data.

Reliabilitas intra-eksaminer diuji menggunakan uji T-test berpasangan. Reliabilitas adalah suatu keadaan dimana pengukuran dapat dilakukan pengulangan dalam kondisi yang sama dalam waktu yang berbeda dengan hasil yang sama (terdapat perbedaan tidak signifikan). Validitas antara model studi konvensional dengan model studi digital di uji menggunakan uji T-test tidak berpasangan untuk jenis data yang berdistribusi normal dan uji Mann-Whitney untuk jenis data yang tidak berdistribusi normal.

Pengukuran mesiodistal, interkaninus, dan intermolar pada 12 model studi konvensional dan 12 model studi digital pertama kali dilakukan pada Januari 2012. Pengukuran kedua dilakukan awal bulan Maret 2012 berupa pengukuran mesiodistal, interkaninus dan intermolar pada model A, B dan C. Uji intra-eksaminer dengan menggunakan uji T-test berpasangan mendapatkan hasil pengukuran mesiodistal gigi secara manual mempunyai nilai $P=0,594$,

pengukuran interkaninus dan intermolar secara manual mempunyai nilai $P=0,701$, pengukuran mesiodistal secara digital mempunyai nilai $P=0,07$, dan pengukuran interkaninus dan intermolar secara digital mempunyai nilai $P=0,562$. Semua nilai P di atas $0,05$ ($0,07-0,701$) yang berarti pengukuran mesiodistal dan pengukuran interkaninus maupun intermolar secara manual maupun digital mempunyai perbedaan yang tidak signifikan atau mempunyai reliabilitas yang baik (tabel 5.1).

Tabel 5.1 Uji T-test berpasangan untuk pengukuran mesiodistal, interkaninus dan intermolar pada model konvensional dan digital

Jenis Pengukuran	Nilai rata-rata	Standar deviasi (SD)	p
Pengukuran mesiodistal manual	.01655	.23511	.594
Pengukuran jarak interkaninus dan intermolar manual	-.00583	.05125	.701
Pengukuran mesiodistal digital	-.03155	.08508	.070
Pengukuran jarak interkaninus dan intermolar digital	.02000	.11592	.562

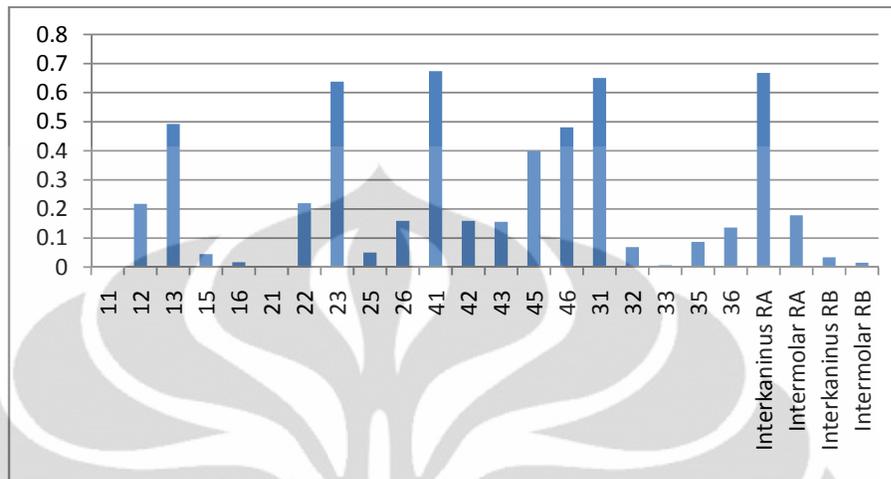
Nilai $p > 0,05$, berarti perbedaan tidak bermakna.

Nilai rata-rata adalah rata-rata perbedaan antara pengukuran awal dengan pengukuran kedua.

Pengukuran distribusi normalitas data pada pengukuran mesiodistal gigi rahang atas maupun rahang bawah mendapatkan hasil gigi 12, 13, 22, 23, 25, 26, 31, 32, 35, 36, 41, 42, 43, 45 dan 46 mempunyai distribusi data yang normal dengan nilai signifikan $p > 0,05$, sedangkan gigi 11 (Insisif 1 atas kanan), 15 (Premolar 2 atas kanan), 16 (Molar atas kanan), 21 (Insisif satu atas kiri), dan 33 (Kaninus bawah kiri) mempunyai distribusi data yang tidak normal dengan nilai signifikan $p < 0,05$ (diagram 5.1 dan tabel 5.2).

Pengukuran normalitas distribusi data pada jarak interkaninus dan intermolar rahang atas mempunyai nilai $p > 0,05$ (interkaninus rahang atas $p=0,66$, intermolar rahang atas $p=0,17$) yang berarti distribusi data pada pengukuran interkaninus dan intermolar rahang atas mempunyai distribusi data normal, sedangkan pengukuran interkaninus dan intermolar rahang bawah mempunyai distribusi data yang tidak normal dengan nilai $p < 0,05$ (diagram 5.1 dan tabel 5.2).

Diagram 5.1 Nilai distribusi normalitas data



Pengukuran homogenitas data dengan *Levene's test of equality of variance* dilakukan pada data dengan distribusi data yang normal. Pada semua hasil pengukuran nilai signifikan atau $\alpha > 0,05$ yang berarti kedua kelompok yaitu penghitungan manual dan digital memiliki nilai varian yang sama (tabel 5.2).

Tabel 5.2 Nilai rata-rata (mean) pengukuran manual, pengukuran digital, selisih antara manual dan digital, nilai distribusi normalitas data dan hasil tes Levene

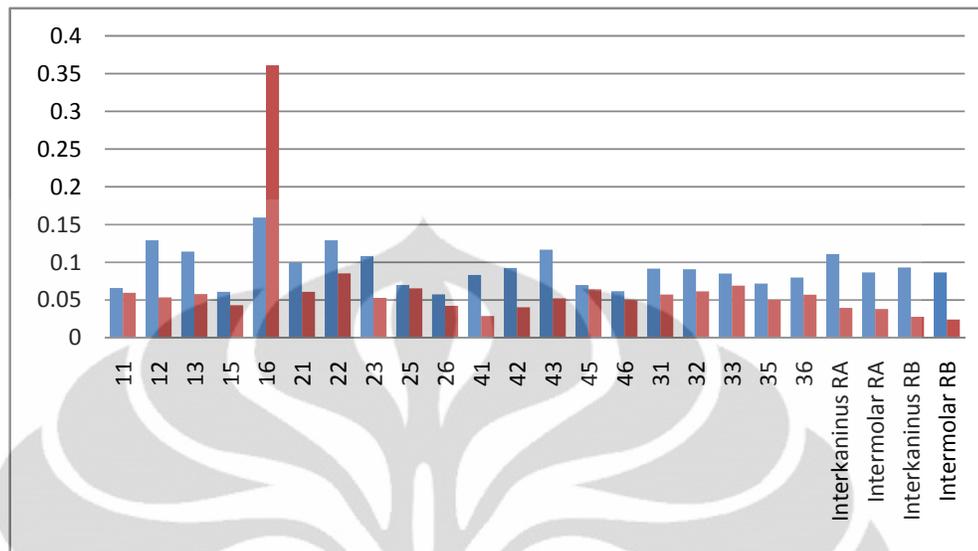
Parameter	Manual		Digital		Selisih		Distribusi data manual dan digital (p)	Tes Levene
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Hasil pengukuran 11	8,05	.55376	8,05	.57033	.0658	.05961	.000*	
Hasil pengukuran 12	6,85	.48060	6,94	.45780	.1292	.05351	.218	.822
Hasil pengukuran 13	7,44	.47838	7,47	.47695	.1142	.05791	.492	.998
Hasil pengukuran 15	7,02	.24810	7,05	.25859	.0608	.04316	.045*	
Hasil pengukuran 16	10,35	.58708	10,4	.56482	.1592	.36087	.017*	
Hasil pengukuran 21	8,19	.66504	8,21	.64038	.1000	.06090	.000*	
Hasil pengukuran 22	6,51	.54897	6,55	.60876	.1292	.08522	.220	.711
Hasil pengukuran 23	7,56	.37603	7,55	.38306	.1083	.05271	.638	.990
Hasil pengukuran 25	7,03	.38070	7,06	.38340	.0700	.06551	.050	.789

Hasil pengukuran 26	10,53	.60598	10,51	.61441	.0575	.04224	.159	.891
Hasil pengukuran 41	5,14	.24278	5,15	.21227	.0833	.02871	.674	.943
Hasil pengukuran 42	5,71	.41131	5,71	.40338	.0925	.04048	.159	.928
Hasil pengukuran 43	6,47	.56348	6,51	.54941	.1167	.05211	.156	.979
Hasil pengukuran 45	7,29	.46446	7,32	.44359	.0700	.06424	.399	.804
Hasil pengukuran 46	10,98	.37348	11,01	.34799	.0617	.04988	.481	.701
Hasil pengukuran 31	5,21	.30281	5,25	.27982	.0917	.05734	.650	.720
Hasil pengukuran 32	5,67	.40259	5,68	.43541	.0908	.06156	.069	.969
Hasil pengukuran 33	6,48	.43798	6,49	.40434	.0850	.06908	.006*	
Hasil pengukuran 35	7,29	.37064	7,30	.31839	.0717	.05042	.087	.596
Hasil pengukuran 36	11,11	.51585	11,11	.51806	.0800	.05721	.136	.991
Hasil pengukuran Interkaninus RA	34,74	1.77894	34,77	1.76883	.1108	.03942	.668	.934
Hasil pengukuran Intermolar RA	50,46	2.56181	50,53	2.57734	.0867	.03798	.178	.967
Hasil pengukuran Interkaninus RB	26,73	1.29213	26,41	1.27078	.0933	.02774	.034*	
Hasil pengukuran Intermolar RB	42,98	2.90791	43,00	2.87843	.0867	.02425	.015*	

*nilai $p < 0,05$ yang berarti distribusi data tidak normal
 Tes Levene $> 0,05$ berarti jenis varian data homogen

Rata-rata selisih antara metode manual dan digital dari semua jenis pengukuran (pengukuran mesiodistal, jarak interkaninus dan jarak intermolar) yaitu 0,09mm (SD=0,06). Rata-rata selisih pengukuran lebar mesiodistal yaitu 0,09mm (SD=0,07). Rata-rata selisih pengukuran jarak interkaninus yaitu 0,10mm (SD=0,03). Rata-rata selisih pengukuran jarak intermolar yaitu 0,08mm (SD=0,03). Nilai selisih terbesar pada rata-rata pengukuran mesiodistal gigi 16 yaitu 0,15 mm dan selisih terkecil pada rata-rata pengukuran mesiodistal gigi 26 yaitu 0,05 mm (diagram 5.2).

5.2 Diagram rata-rata selisih pengukuran manual dan digital



Uji T-test tidak berpasangan pada pengukuran mesiodistal gigi, pengukuran jarak interkaninus rahang atas dan jarak intermolar menunjukkan nilai $p > 0,05$ (0,64 – 0,99).

Uji Mann-Whitney pada pengukuran mesiodistal gigi, pengukuran jarak interkaninus rahang atas dan jarak intermolar rahang bawah menunjukkan nilai $p > 0,05$ (0,62-0,95).

Kedua jenis tes menunjukkan hasil perbedaan yang tidak signifikan dengan nilai $p > 0,05$ (tabel 5.3), yang berarti H_0 diterima yaitu :

1. Tidak ada perbedaan pada hasil pengukuran lebar mesiodistal gigi antara model studi tiga dimensi digital dengan model studi konvensional.
2. Tidak ada perbedaan pada hasil pengukuran jarak interkaninus antara model studi tiga dimensi digital dengan model studi konvensional.
3. Tidak ada perbedaan pada hasil pengukuran jarak intermolar antara model studi tiga dimensi digital dengan model studi konvensional.

Tabel 5.3 Hasil Uji T-test tidak berpasangan dan Uji Mann-Whitney pada pengukuran mesiodistal, interkaninus dan intermolar

Parameter	Uji T-test tidak berpasangan (<i>p</i>)	Uji Mann Whitney (<i>p</i>)
Hasil pengukuran 11		0,62
Hasil pengukuran 12	0,64	
Hasil pengukuran 13	0,87	
Hasil pengukuran 15		0,62
Hasil pengukuran 16		0,70
Hasil pengukuran 21		0,86
Hasil pengukuran 22	0,88	
Hasil pengukuran 23	0,93	
Hasil pengukuran 25	0,85	
Hasil pengukuran 26	0,94	
Hasil pengukuran 41	0,90	
Hasil pengukuran 42	0,99	
Hasil pengukuran 43	0,89	
Hasil pengukuran 45	0,84	
Hasil pengukuran 46	0,92	
Hasil pengukuran 31	0,73	
Hasil pengukuran 32	0,93	
Hasil pengukuran 33		0,86
Hasil pengukuran 35	0,94	
Hasil pengukuran 36	0,98	
Hasil pengukuran interkaninus RA	0,97	
Hasil pengukuran intermolar RA	0,95	
Hasil pengukuran interkaninus RB		0,95
Hasil pengukuran intermolar RB		0,95

Nilai $p > 0,05$ berarti terdapat perbedaan tidak signifikan.

Nilai $p > 0,05$, berarti hipotesa nol diterima

BAB 6

PEMBAHASAN

Pencitraan 3 dimensi (3D) merupakan suatu teknologi yang saat ini semakin sering dipergunakan di dunia kedokteran. Dalam bidang kedokteran, teknologi pencitraan tiga dimensi ini digunakan terutama untuk kepentingan diagnostik. Sedangkan dalam dunia kedokteran gigi, secara spesifik dalam bidang ortodontik, teknologi 3D digunakan untuk analisis sebelum dilakukan suatu perawatan ortodontik. Kelebihan teknologi 3D adalah suatu objek nyata dapat dicitrakan dalam bentuk tiga dimensi sehingga suatu objek yang akan diperiksa dapat dilihat dari berbagai dimensi (dimensi panjang, lebar dan kedalaman) sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan diagnosis. Gambaran suatu objek yang berbentuk tiga dimensi apabila diukur secara dua dimensi, pada umumnya memiliki resiko kesalahan yang tinggi, seperti pada pengukuran sefalometri. Sefalometri merupakan gambaran dua dimensi dari objek tiga dimensi (tulang kranial), sehingga pengukuran yang dilakukan pada metode ini menjadi terbatas dan tidak bisa memberi gambaran secara tiga dimensi. Alat 3D untuk diagnostik yang umum digunakan dalam bidang kedokteran yaitu CBCT, MRI, dan USG.

Teknologi pencitraan tiga dimensi telah berkembang secara pesat di Amerika dan Eropa. Selain mempermudah dan meningkatkan efisiensi pengukuran dan analisis kasus pasien, model studi 3D digital juga memungkinkan penyimpanan data model studi tersebut di dalam *database* komputer sehingga dapat mengurangi penggunaan ruangan penyimpanan model studi.³² Efisiensi analisis model studi dengan penggunaan perangkat lunak digital telah dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan Tomassetti dkk. dan Mullen dkk.²⁵

Tomassetti dkk., menemukan perbedaan waktu pengukuran yang signifikan antara pengukuran manual dengan pengukuran digital pada analisis Bolton. Pada penggunaan piranti lunak Quickceph dibutuhkan waktu 1,85 menit untuk tiap kali analisis Bolton, sedangkan pengukuran dengan menggunakan kaliper vernier membutuhkan waktu 8,06 menit.²⁵ Penelitian yang dilakukan oleh

Mullen dkk., juga menyimpulkan bahwa penghitungan mesiodistal dan analisis Bolton pada piranti lunak E-model lebih cepat 65 detik dibandingkan pengukuran secara manual.³²

Model studi 3D digital yang digunakan oleh mayoritas ortodontis berasal dari proses pemindaian laser. Pemindaian laser menjadi pilihan dikarenakan mempunyai keuntungan :

- dapat menyatukan gambar sendiri (*auto image distortion correction*), yaitu suatu kemampuan untuk menyatukan sendiri gambar-gambar yang sudah dipindai dengan sudut berbeda secara otomatis sehingga tercipta gambaran 3 dimensi.
- kalibrasi secara otomatis (*self calibration*).
- bersifat tidak invasif, hal ini berkaitan dengan penggunaan tipe laser tipe 1 atau 2 yang tidak berbahaya bagi manusia.³⁶

Cara kerja laser yang digunakan untuk mendapatkan model studi 3D berupa pemindaian laser dengan prinsip triangulasi (misal pada E-model), ataupun *destructive laser scanner* (misal pada OrthoCad). Metode triangulasi lebih mudah dilakukan, lebih efisien dan dari segi biaya lebih murah.³⁵

Adanya berbagai keuntungan penggunaan teknologi 3D digital, menjadi alasan dilakukannya penelitian ini. Tujuan penelitian untuk merakit alat yang terdiri dari pemindai laser 3D dan piranti lunak dan mengetahui perbedaan pengukuran antara metode pengukuran manual dengan pengukuran digital.

6.1 Pembuatan rangkaian pemindai laser 3D

Pada awal penelitian, peneliti berfokus mencari tipe kamera yang tepat maupun pergerakan laser yang tepat. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil gambar yang terbaik sehingga kamera diganti sampai tiga kali dan arah laser berganti 4 kali.

Dari beberapa kali perubahan kamera dan arah laser, peneliti berkesimpulan bahwa hasil pemindaian dipengaruhi:

- jenis kamera (semakin tinggi resolusi kamera, semakin baik gambar yang diperoleh).

- kecepatan pergerakan laser (pergerakan laser yang lambat tetapi konstan mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan pergerakan laser yang cepat).

Penelitian dilanjutkan dengan menentukan *hardware* yang tepat, dari mulai penggunaan *laptop* menjadi penggunaan *PC Desktop*. *PC Desktop* yang terakhir digunakan mempunyai spesifikasi komputer setara dengan Intel Core2Duo dengan minimal memiliki spesifikasi berupa *processor* setara core2duo 2.0 Ghz, memori 2GB, *harddisk* 40GB, *VGA*, *connector* USB, Operating System Windows 7.

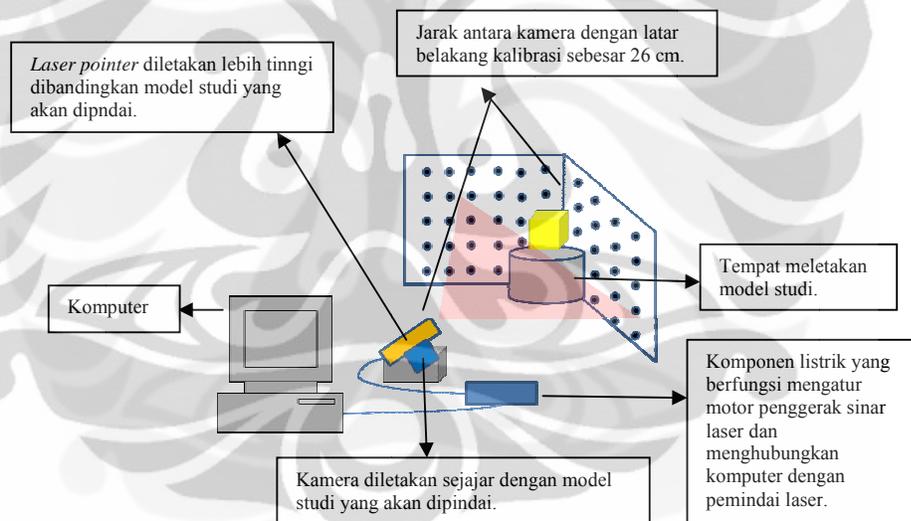
Spesifikasi komputer ini berkaitan dengan kemampuan komputer untuk menjalankan program dan menyimpan data. Semakin tinggi spesifikasi komputer maka semakin cepat program dijalankan terutama untuk proses fusi/*stitching* atau penggabungan gambar, dan hasil yang ditampilkan lebih baik. Penggunaan komputer yang mempunyai memori besar juga berkaitan dengan besarnya data yang disimpan.

Pada saat penggunaan kamera Logitech (resolusi 640x480) hasil gambar yang keluar membutuhkan memori 1,5 MB, saat digunakan Logitech HD-Ready (720p) hasil gambar yang keluar membutuhkan memori 3-4,5 MB. Kamera terakhir yang digunakan yaitu Logitech 525 Full-HD hasil gambar yang keluar membutuhkan memori 16-25 MB. Kapasitas memori penyimpanan yang saat ini digunakan dalam penelitian lebih besar dari OrthoCad (3MB) dan E-model (800KB).^{24,29} Hal ini perlu dijadikan pertimbangan dalam penyempurnaan pemindai laser dan piranti lunak.

Setelah ditentukan jenis kamera, jenis laser dan spesifikasi komputer yang akan digunakan, tahap selanjutnya adalah menentukan perubahan sudut pada pemindaian model studi. Winkelbach dkk. (2006), menggunakan perubahan sudut sebesar 30-35° untuk tiap kali pemindaian.³⁷ Sudut yang digunakan oleh Winkelbach lebih kecil dibandingkan perubahan sudut yang dilakukan pada penelitian oleh Kusnoto dkk., yang menggunakan perubahan sudut sebesar 45°.³⁶ Masing-masing perubahan sudut yaitu sebesar 30° dan 45° digunakan pada saat pemindaian dan penggabungan gambar/*stitching*. Dari hasil penggabungan, semakin besar perubahan sudut peletakan gigi saat pemindaian maka pada saat

penggabungan gambar model gigi, maka semakin banyak area yang tidak terdeteksi. Oleh karena itu, peneliti menggunakan perubahan sudut sebesar 30° .

Penggabungan gambar/fusi menjadi bentuk 3D yang utuh membutuhkan waktu kurang lebih 30 menit. Pada hasil penggabungan terlihat gambaran area interproksimal menjadi kurang tajam. Hal ini disebabkan piranti lunak belum dapat menggabungkan area tersebut secara jelas, sehingga dilakukan penghalusan pada area tersebut. Hal ini juga berkaitan dengan *benchmark* (David Laser Scanner) yang merupakan piranti lunak yang diciptakan bukan spesifik untuk gigi sehingga tidak dapat membaca area interproksimal. Gambaran yang kurang tajam juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Mullen dkk. yang menggunakan piranti lunak E-model.³² Hal ini perlu menjadi perhatian utama untuk penelitian selanjutnya, yang berkaitan dengan pembuatan *software* model gigi 3D (versi Indonesia).



Gambar 6.1 Skema serangkaian alat pemindai laser 3D.

Setelah dibuat sistem pemindaian laser, maka proses pemindaian pada 12 pasang studi dapat dimulai (gambar 6.1). Sebelum dilakukan pemindaian dan pengukuran model studi secara manual maupun digital dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi bertujuan untuk mencapai kesepakatan pengukuran yaitu dengan mendapatkan pembacaan yang tepat antara program di dalam piranti lunak dengan gambar titik pada kertas yang ditempel di kotak (*calibration background*). Kalibrasi menghilangkan kemungkinan terjadinya

systematic error pada alat. Kalibrasi dilakukan pada kaliper digital (gambar 6.2) dan pada *software*.



Pada saat ujung tip kaliper digital dirapatkan maka nilai 0,00 mm harus ada pada layar digital.

Gambar 6.2. Kalibrasi pada kaliper digital.

6.2 Uji normalitas distribusi data

Apabila sistem sudah terkalibrasi, maka dilanjutkan dengan pengukuran lebar mesiodistal, jarak interkaninus, dan jarak intermolar secara manual dan digital, selanjutnya dilakukan pengolahan data. Pada penelitian ini, pengukuran mesiodistal gigi 11, 15, 16, 21, dan 33 serta jarak interkaninus RB dan jarak intermolar RB mempunyai distribusi data yang tidak normal dengan nilai $p < 0,05$ (0,00 – 0,04). Distribusi data yang tidak normal dapat disebabkan (1) penggunaan 12 sampel gigi pada pasien yang berbeda sehingga mempunyai ukuran mesiodistal gigi yang berbeda-beda, (2) penggunaan sampel gigi sebanyak 12 pasang kurang banyak sehingga distribusi data menjadi tidak normal. Distribusi data yang tidak normal pada sebagian sampel tidak mempengaruhi validitas hasil, akan tetapi menyebabkan uji validitas yang dilakukan menjadi berbeda jenisnya. Data dengan distribusi normal diuji dengan uji T-test tidak berpasangan untuk dan data dengan distribusi tidak normal diuji dengan uji Mann-Whitney.

6.3 Uji intra-eksaminer

Uji intra-eksaminer dilakukan sebelum uji validitas data. Uji intra-eksaminer pada metode pengukuran secara manual dan digital menggunakan uji T-test berpasangan, karena uji ini berguna untuk menunjukkan reliabilitas maupun *systematic error* suatu penelitian. Hasil uji T-test berpasangan pada 3 sampel (20% dari total sampel) yang dilakukan replikasi, menunjukkan angka yang berbeda. Akan tetapi, hasil pengukuran yang berbeda masih dalam skala yang tidak signifikan, $p > 0,05$ dengan kisaran nilai p antara 0,07-0,701. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat melakukan pengukuran untuk sampel yang sama

dengan metode yang sama, maka kemungkinan hasil yang diperoleh akan sedikit berbeda tetapi tidak bermakna. Dari hasil uji T-tes berpasangan dapat, peneliti menarik kesimpulan bahwa: 1) kesalahan penghitungan yang diakibatkan oleh operator tidak signifikan; 2) operator mampu menggunakan alat penelitian secara berulang dengan hasil penghitungan yang tidak berbeda bermakna. Pada perkembangan selanjutnya, diharapkan dapat diciptakan suatu algoritma yang memungkinkan piranti lunak mampu mengidentifikasi bagian mesial, distal maupun *cusp* suatu gigi sehingga kesalahan penghitungan dapat lebih sedikit.

Nilai reliabilitas tertinggi berupa pengukuran jarak interkaninus dan intermolar secara manual, dan terendah pada pengukuran lebar mesiodistal secara digital. Pengukuran pada jarak interkaninus dan intermolar pada metode manual mempunyai nilai tertinggi karena penentuan titik referensi pada kedua titik tersebut yaitu pada puncak *cusp* gigi caninus untuk jarak interkaninus dan pada puncak *cusp* mesiobukal gigi molar untuk jarak intermolar lebih mudah dan meletakkan kaliper digital secara tegak lurus pada puncak *cusp* lebih mudah dibandingkan meletakkan kaliper digital secara tegak lurus di area interproksimal.

Pada gigi dengan bagian mesial dan distal yang tidak cembung, atau sudah dilakukan pengasahan gigi, maka area interproksimal menjadi lebih rapat (kontak bidang) sehingga dibutuhkan ujung kaliper digital yang sangat lancip untuk dapat mengukur lebar mesiodistal. Area interproksimal yang rapat juga berpengaruh pada saat pengukuran mesiodistal secara digital karena penentuan titik pengukuran menjadi lebih sulit.

6.4 Uji validitas data

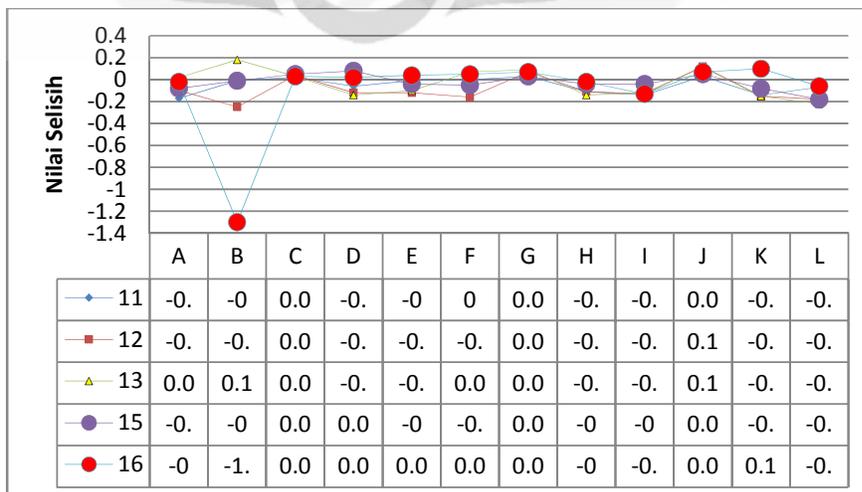
Pada uji validitas menggunakan uji T-test tidak berpasangan dan uji Mann-Whitney mendapatkan nilai $p > 0,05$ pada semua sampel, yang berarti penghitungan secara digital bila dibandingkan dengan penghitungan manual menggunakan kaliper digital menunjukkan perbedaan yang tidak bermakna dengan nilai p antara 0,62-0,99. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa pengukuran mesiodistal, jarak interkaninus dan jarak intermolar secara digital mempunyai validitas yang baik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bell

dkk. (2003) dan Keating dkk. (2008) yang membuktikan bahwa pengukuran menggunakan model digital mempunyai validitas dan realibilitas yang tinggi.^{11,13}

Perbedaan antara pengukuran digital dibandingkan dengan pengukuran manual mempunyai rata-rata selisih sebesar 0,09mm (SD=0,06). Perbedaan antara pengukuran manual dan digital pada penelitian ini tidak konsisten dengan nilai pengukuran yang kadang lebih besar pada digital (0-1,3 mm) dan kadang lebih kecil pada digital atau bernilai negatif (diagram 6.1, 6.2, 6.3 dan 6.4). Hasil ini, sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Stevens dkk. (2006), dengan piranti lunak Geodigm yang menemukan terdapat perbedaan pada pengukuran manual dan digital yang tidak konsisten,³⁰ namun hal yang berbeda disimpulkan dari penelitian yang dilakukan oleh Santoro dkk. (2003), yang melaporkan bahwa pengukuran dengan E-model mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan metode manual.¹⁴

Akan tetapi hasil penelitian Santoro dkk., kontradiktif dengan penelitian yang dilakukan Quimby dkk. (2004), yang melaporkan bahwa pengukuran interkaninus dan intermolar menggunakan model digital (OrthoCad) lebih besar dibandingkan pengukuran secara manual (0,22-0,61mm). Pengukuran yang lebih besar pada model digital dapat disebabkan karena penyusutan selama pengiriman cetakan gigi pasien yang menggunakan PVS, sehingga ketika dilakukan pemindaian pada cetakan diperoleh hasil pemindaian yang berukuran lebih besar, atau dapat disebabkan oleh operator yang belum terbiasa menggunakan pengukuran digital.³⁸

Diagram 6.1 Nilai selisih pengukuran lebar mesiodistal gigi 11,12, 13,15,16



Selisih pengukuran lebar mesiodistal gigi 16 pada sampel B mempunyai nilai yang cukup cukup besar yaitu -1,3mm. Akan tetapi, menurut Proffit adanya perbedaan pengukuran gigi kurang dari 1,5 mm merupakan suatu hal yang tidak signifikan.² Nilai ini tidak mempengaruhi hasil signifikansi statistik pada uji validitas secara keseluruhan. Akan tetapi hal ini, menunjukkan bahwa kemungkinan untuk terjadinya perbedaan pengukuran yang signifikan antara pengukuran manual dan digital selalu ada meskipun dalam skala kecil (pada penelitian ini dalam skala 1:240). Selisih yang besar pada pengukuran gigi 16 yaitu nilai selisih terkecil 0,01 mm dan selisih terbesar -1,3mm menyebabkan standar deviasi (SD) pada gigi 16 besar yaitu SD=0,36 (tabel 5.2).

Pada diagram 6.2, 6.3 dan 6.4, pengukuran pada gigi 25 dan 26 sampel C, gigi 36 sampel B, gigi 34 dan 35 sampel K, gigi 46 pada sampel D dan J menunjukkan tidak ada perbedaan antara pengukuran manual dengan pengukuran digital (0mm). Hal ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan pengukuran yang sama antara manual dan digital adalah suatu hal yang bisa dilakukan oleh operator meskipun masih dalam skala kecil (skala 7:240).

Diagram 6.2 Nilai selisih pengukuran lebar mesiodistal gigi 21,22,23,25,26

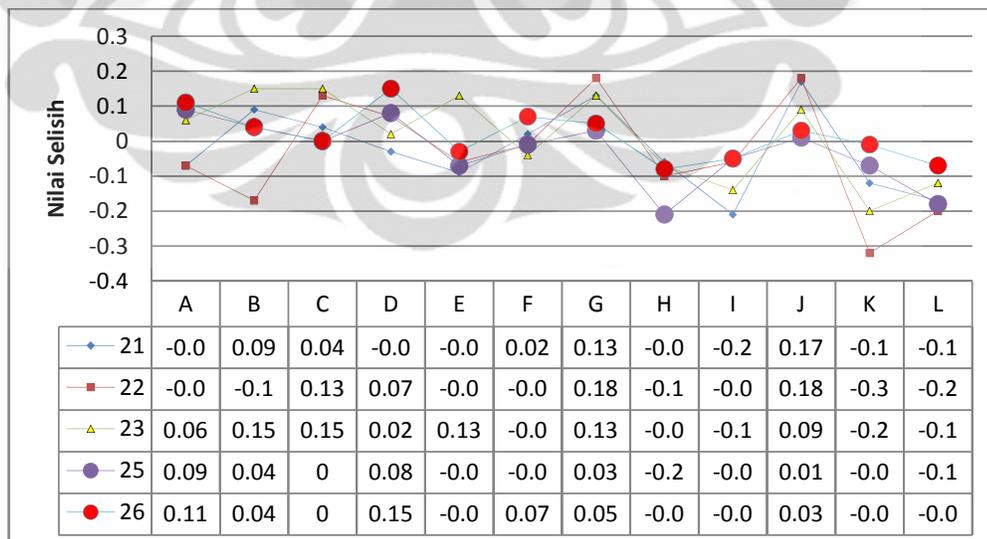


Diagram 6.3 Nilai selisih pengukuran lebar mesiodistal gigi 31,32,33,35,36

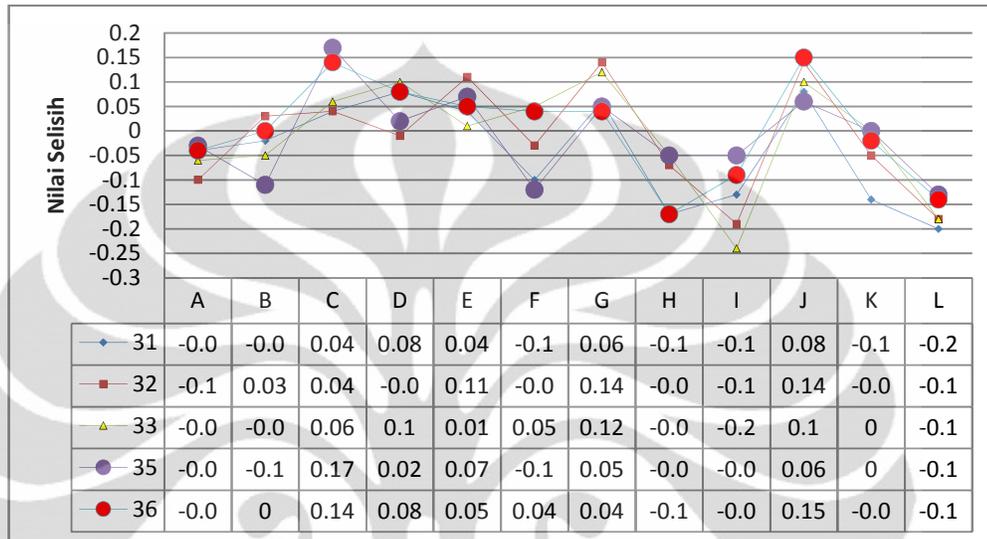
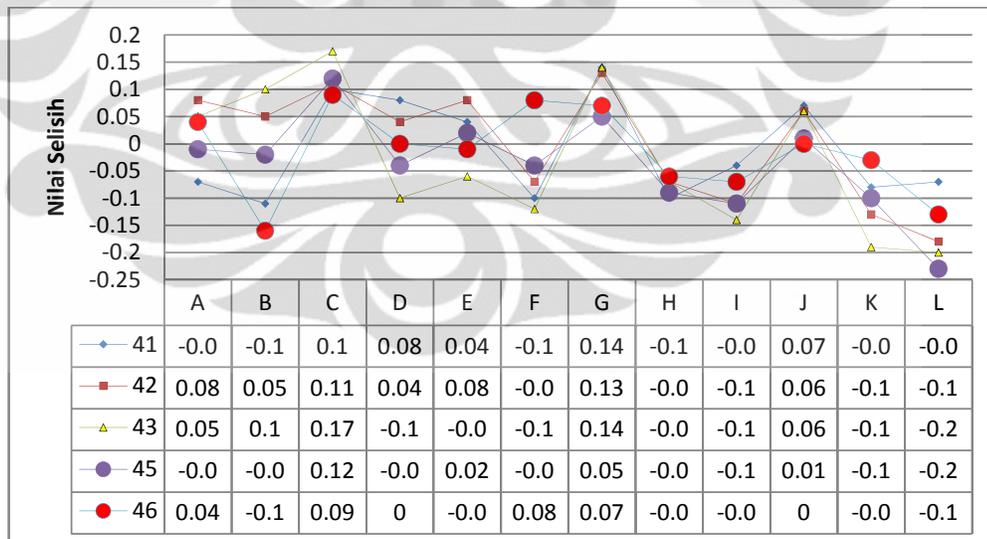


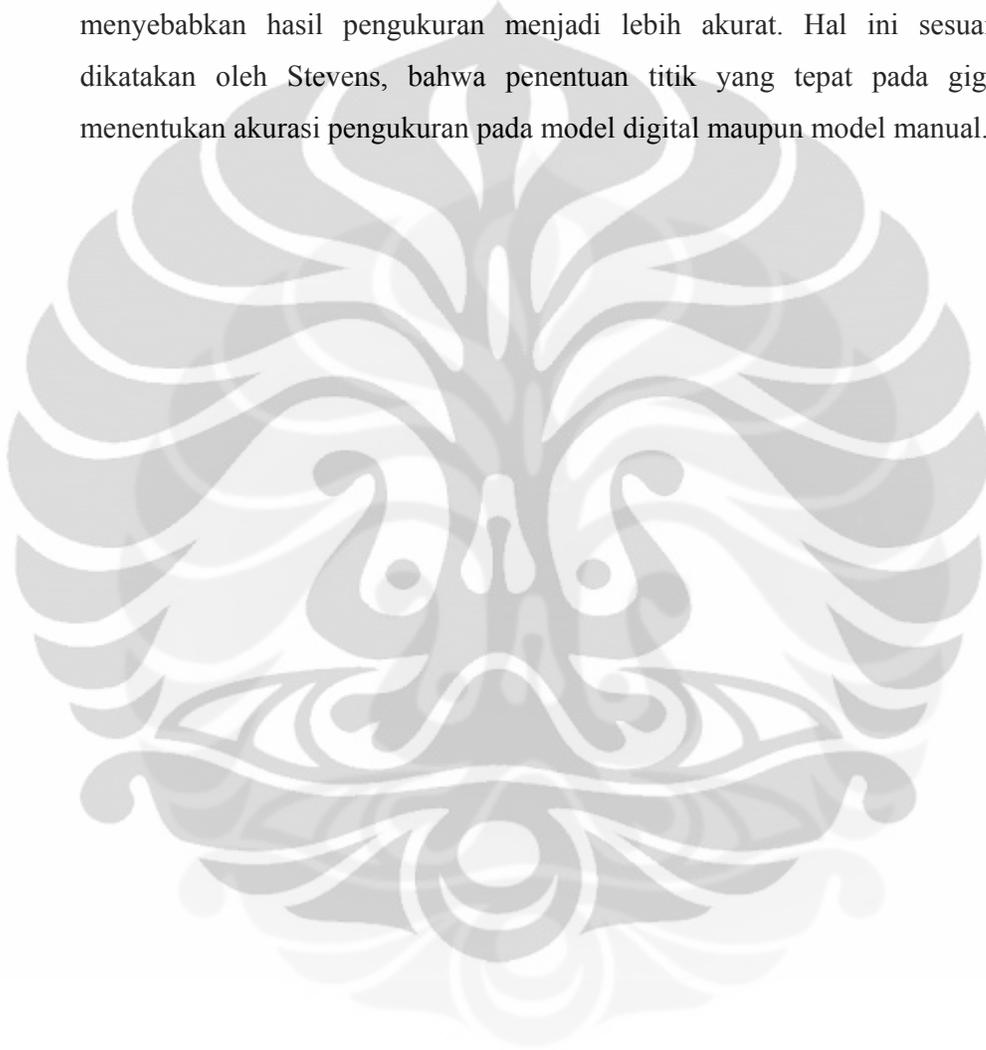
Diagram 6.4 Nilai selisih pengukuran lebar mesiodistal gigi 41,42,43,45,46



Perbedaan pengukuran gigi secara manual dengan digital mempunyai rata-rata selisih 0,09mm (SD=0,06) lebih kecil dari penelitian yang dilakukan oleh Keating dkk. (2008) dengan nilai rata-rata selisih 0,14 mm (SD=0,2).¹³ Nilai rata-rata perbedaan 0,09 mm lebih kecil dari perkiraan yang dilakukan oleh peneliti.

Peneliti memperkirakan terdapat perbedaan dengan nilai maksimal 0,3mm (terdapat pada rumus sampel).

Nilai rata-rata selisih yang lebih kecil disebabkan penggunaan titik penanda/referensi pada mesiodistal gigi, *cusp* mesiobukal dan *cusp* kaninus dengan menggunakan pena merah sehingga mempermudah pengukuran dan menyebabkan hasil pengukuran menjadi lebih akurat. Hal ini sesuai yang dikatakan oleh Stevens, bahwa penentuan titik yang tepat pada gigi akan menentukan akurasi pengukuran pada model digital maupun model manual.²⁸



BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, hasil nilai rata-rata selisih antara pengukuran model studi konvensional menggunakan kaliper digital dengan pengukuran model studi 3D secara digital, adalah sebesar 0,09 mm dengan SD=0,06, kemudian secara statistik semua jenis pengukuran mempunyai nilai p di atas 0,05 yang artinya secara statistik tidak terdapat perbedaan yang bermakna atau hipotesa penelitian diterima. Pada masing-masing kelompok pengukuran yaitu nilai selisih rata-rata lebar mesiodistal sebesar 0,09 (SD=0,07) dengan $p>0,05$, nilai rata-rata selisih pengukuran jarak interkaninus 0,10 mm (SD=0,03) dengan $p>0,05$ dan nilai rata-rata selisih pengukuran jarak intermolar 0,08 mm (SD=0,03) dengan $p>0,05$. Oleh karena itu, peneliti menyimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang bermakna pada pengukuran lebar mesiodistal, pengukuran jarak interkaninus dan pengukuran jarak intermolar, antara metode pengukuran secara manual dengan pengukuran secara digital.

Serangkaian alat pemindai laser 3D (buatan kerjasama Departemen Ortodonti FKG UI dan Lab. Sistem Kendali dan Komputer Sekolah Teknik Elektro Informatika ITB) dan piranti lunak dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran model studi 3D digital. Penggunaan titik referensi pada mesiodistal gigi, *cusp* kaninus dan *cusp* mesiobukal molar pertama mempermudah pengukuran lebar mesiodistal, jarak interkaninus maupun intermolar sehingga diperoleh nilai selisih pengukuran yang kecil.

Pengukuran model studi 3D secara digital maupun manual mempunyai reliabilitas intra-eksaminer yang baik. Akan tetapi, nilai pengukurannya mempunyai nilai yang tidak konsisten. Hal ini menyebabkan pentingnya penguasaan operator terhadap penggunaan teknologi model studi 3D digital

7.2 Saran

Pada penelitian ini data penelitian ada yang tidak berdistribusi normal, oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat digunakan jenis sampel yang sejenis untuk mendapatkan distribusi data yang normal (misalnya

beberapa phantom dengan ukuran mesiodistal yang sama) atau digunakan sampel yang lebih banyak.

Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan penghitungan statistik jenis lain seperti Bland-altman dan pengukuran model gigi dengan dua operator untuk dilakukan pengujian intereksaminer.

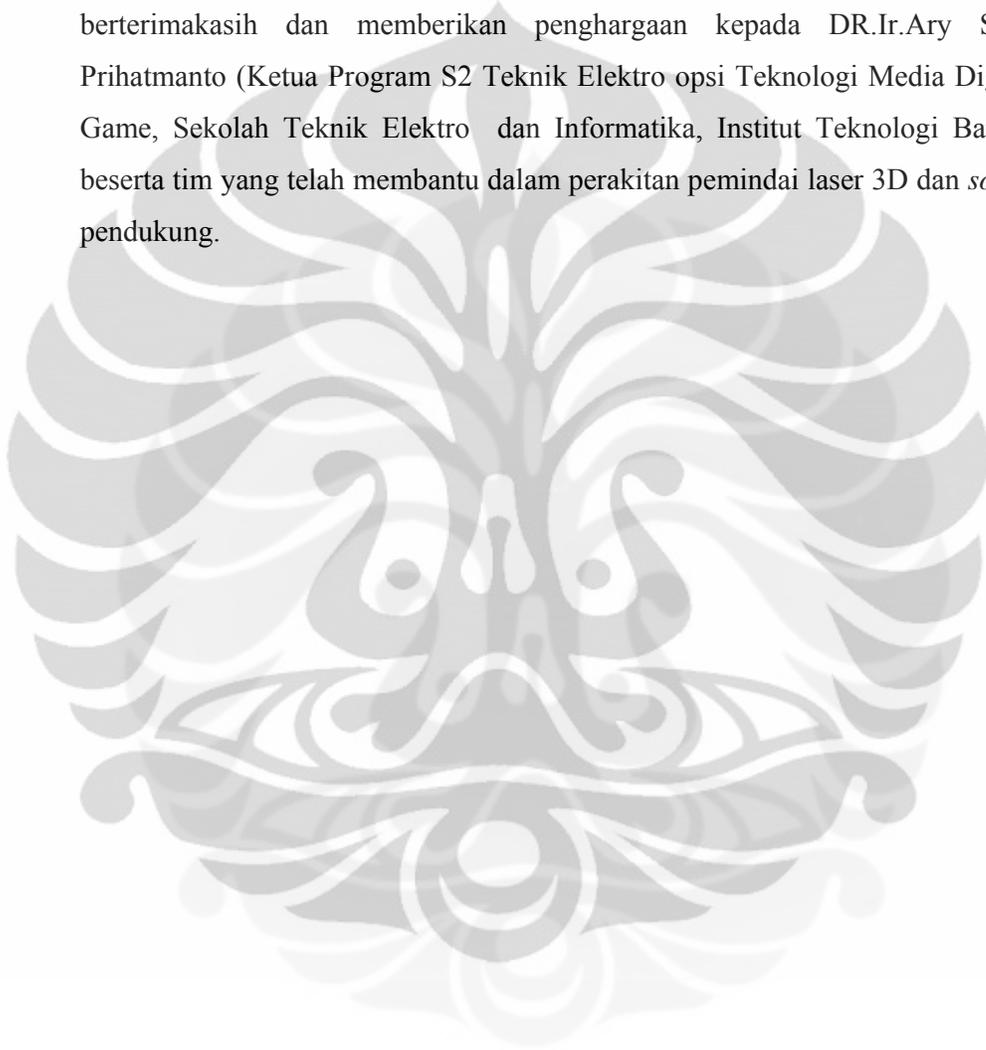
Pada penelitian ini area interproksimal belum terdefinisi oleh *software* dengan jelas karena keterbatasan kemampuan *software* sehingga gambaran interproksimal menjadi tidak jelas sehingga dapat mengganggu saat pengukuran. Saat ini tim dari Sekolah Teknik Elektro Informatika ITB sudah mulai mengembangkan desain *software* khusus untuk bidang kedokteran gigi. Peneliti berharap *software* tersebut sudah dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

Pada penelitian ini hanya dilakukan perbandingan pengukuran lebar mesiodistal, jarak interkaninus dan jarak intermolar. Peneliti berharap pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian untuk diagnosis model studi seperti, penghitungan *Little Irregularity Index*, analisis Bolton, analisis Lundstrum, penghitungan kesling ataupun pembuatan *prototyping* model studi.

Peneliti berharap kerjasama antara institusi Departemen Ortodonti FKG UI dan STEI-ITB dapat berjalan secara berkesinambungan sehingga tercipta program (*software*) yang lebih sempurna.

Ucapan terima kasih

Pembuatan rangkaian alat pemindai laser 3D merupakan suatu kerjasama antara Departemen Ortodonti Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia dengan Sekolah Teknik Elektro Informatika Insitut Teknologi Bandung. Peneliti berterimakasih dan memberikan penghargaan kepada DR.Ir.Ary Setijadi Prihatmanto (Ketua Program S2 Teknik Elektro opsi Teknologi Media Digital & Game, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung) beserta tim yang telah membantu dalam perakitan pemindai laser 3D dan *software* pendukung.



DAFTAR REFERENSI

1. Rakosi T, Jonas I, Graber TM, Orthodontic Diagnosis, Thieme Med Pub, New York, 1993; 207-35.
2. Proffit WR, Ackerman JL. Orthodontics diagnosis: the development of a problem list. In: Profit WR, Fields HW, Contemporary orthodontics, 3rd. ed., St. Louis: Mosby; 2000:166-70.
3. Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KW, editors. Orthodontics:current principles and techniques, 4th ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2005 : 345-62
4. British Dental Association, Advice Sheet B1: Ethics in dentistry, London, BDA, 1995.
5. Zilberman O, Huggare J, Parikakis K. Evaluation of the validity of tooth size arch width measurements using conventional and three dimensional virtual orthodontic models, Angle Orthod 2003;73:301-6.
6. Qomara NZ, Perbedaan pengukuran diskrepansi model secara manual dengan komputerisasi pada maloklusi kelas I, thesis, Universitas Airlangga, 2010.
7. Kojima T, Sohmura T, Wakabayashi K, Nagano M, Nakamura T, Takashima F, Development of a new high speed measuring system to analyze the dental cast form, Journal of Dental Material, 1999;18:354-65
8. Keating PJ, Parker A, Keane D, Wright L, The holographic storage of study models, British Journal of Orthodontics, 1984;11:119-25.
9. Harradine N, Suominen R, Stephens C, Hathorn I, Brown I, Holograms as substitutes for study cast, Am J Orthod Dent Orthop, 1990;98: 110-6.
10. Martensson B, Ryden H, The holodent system, a new technique for measurements and storage of dental cast, Am J Orthod Dent Orthop; 1992: 102:113-19.
11. Bell A, Ayoub AF, Siebert P, Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for achieving dental study models, Journal of Orthodontics, vol.30, 2003, 219- 23.
12. Steven et al, Validity, reliability and reproducibility of plaster vs digital study models : Comparison of peer assessment rating and bolton analysis

- and their constituent measurements, *Am J Orthod Dent Orthop*, 2006;129:794-803.
13. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI, A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy, *Journal of Orthodontics*, vol.35, 2008, 191-201.
 14. http://en.wikipedia.org/wiki/Structured-light_3D_scanner diunduh tanggal 25 April 2011.
 15. Kuroda T, Motohashi N, Tominaga R, Iwata K, Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning, *Am J Orthod Dent Orthop*, 1996; 110:365-9.
 16. Santoro M, et al, Comparison of measurements made on digital and plaster models, *Am J Orthod Dent Orthop*, 2003; 124:101-5.
 17. <http://webstore/webstore.nsf/Standards/IEC%20685-1>, diunduh tgl 15 April 2012, jam 06.05 wib.
 18. www.minolta.com diunduh tanggal 25 April 2011.
 19. Fawzy KM, Sabet NE, Negm IM, *Software for 3D Analysis of Tooth Movement*, <http://orthocj.com/2008/01/software-for-3d-analysis-of-tooth-movement/> diunduh tanggal 13 April 2011.
 20. Asquith J, Gillgrass T, Mossey P, Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study, *Europ J of Orthod*, 2007, vol.29, 517-22
 21. www.mitutoyo.com diunduh tanggal 24 Oktober 2011 jam 16.30 wib.
 22. www.rapidform.com, Preliminary study of future orthodontic model analysis, diunduh tanggal 18 Mei 2011 jam 20.15 wib.
 23. Faverol, Terrazzani C, Stellini E, Cocilovo F, Virtual Study Models : A comparison of modular application systems, *Prog.Orthod*, 2009, 10(2), 16-25.
 24. www.ortocad.com diunduh tanggal 11 Mei 2011, jam 10.10 wib.
 25. Tomassetti JJ, Taloumis LJ, Denny JM, Fischer JR Jr. A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analysis with a commonly used method. *Angle Orthod* 2001;71:351-7.

26. Leifert MF, Leifert MM, Cangiolasi TJ, Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts, *Am J Orthod Dent Orthop*, 2009;136:16.e1-16.e4.
27. Delstra M and Melsen B. From alginate impression to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *Journal of Orthodontics*, March 2009, vol.36, no.1, 36-4.
28. Alcan T, Ceylanoglu C, Baysal B, The relationship between digital model accuracy and time dependent deformation of alginate impressions, *Angle Orthod*, 2009;79:30-36.
29. www.geodigmcorp.com diunduh tanggal 11 Mei 2011, jam 10.10
30. Whetten JL, Williamson PC, Heo G, Varnhagen G, Major PW. Variations in orthodontic treatment planning decisions of class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. *Am J Orthod Dent Orthop*, 2006;130:485-91.
31. Mullen R, Chris A. Martin, Ngan P and Gladwind M. Accuracy of space analysis with e-models and plaster models, *Am J Orthod Dent Orthop*, 2007;132:346-52.
32. www.suresmile.com diunduh tanggal 11 Mei 2011, jam 11.00 wib
33. Tang Y, Stereolithography cure process modelling, *George Institute of Technology*, August, 2005.
34. Kusnoto B, Evans C.A, Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications, *Am J Orthod Dent Orthop*, 2002;122:342-8.
35. Winkelbach S, Molkenstruck S, Wahl F M, Low Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach, *DAGM 2006, LNCS 4174*; 718-28.
36. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR, The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models, *Angle Orthod* 2004;74;298-303.

Lampiran 1

**Hasil pengukuran lebar mesiodistal gigi secara
manual dan digital**

Sampel	Manual					Digital				
	11	12	13	15	16	11	12	13	15	16
A	8,41	6,82	7,92	7,18	10,75	8,58	6,92	7,9	7,26	10,77
B	7,17	6,23	6,63	6,64	9,73	7,18	6,48	6,45	6,65	11,03
C	8,17	6,53	7,45	6,95	9,31	8,15	6,49	7,42	6,9	9,28
D	8,23	6,13	6,79	7,42	10,26	8,29	6,25	6,93	7,34	10,24
E	8,43	6,78	6,93	7,24	10,65	8,44	6,9	7,03	7,28	10,61
F	8,23	7,02	7,58	6,74	9,97	8,23	7,18	7,51	6,79	9,92
G	8,33	7,29	7,78	6,72	10,86	8,3	7,22	7,69	6,69	10,79
H	7,71	7,54	7,61	7,08	11,06	7,82	7,65	7,75	7,12	11,08
J	6,71	6,24	7,23	6,81	9,52	6,85	6,37	7,35	6,85	9,65
J	8,62	7,27	8,26	7,23	10,59	8,59	7,15	8,15	7,18	10,52
K	8,33	7	7,7	7,14	10,96	8,47	7,15	7,85	7,22	10,86
L	8,29	7,36	7,45	7,16	10,55	8,36	7,54	7,67	7,34	10,61
	21	22	23	25	26	21	22	23	25	26
A	8,58	6,73	7,31	6,96	10,98	8,65	6,8	7,25	6,87	10,87
B	7,27	6,03	7,61	6,69	11,53	7,18	6,2	7,46	6,65	11,49
C	8,09	5,88	7,57	7,85	10,05	8,05	5,75	7,42	7,85	10,05
D	8,23	5,78	6,81	7,28	10,07	8,26	5,71	6,79	7,2	9,92
E	8,43	7,45	7,77	7,27	10,65	8,52	7,51	7,64	7,34	10,68
F	8,25	6,52	7,53	6,65	9,6	8,23	6,53	7,57	6,66	9,53
G	8,78	6,5	7,8	7,21	10,87	8,65	6,32	7,67	7,18	10,82
H	8,69	6,43	7,38	7,06	10,97	8,75	6,53	7,45	7,27	11,05
J	6,5	5,85	7,09	6,47	9,58	6,71	5,91	7,23	6,52	9,63
J	8,6	7,01	8,14	7,24	10,5	8,43	6,83	8,05	7,23	10,47
K	8,33	7	7,95	6,65	11,08	8,45	7,32	8,15	6,72	11,09
L	8,58	7,05	7,85	7,07	10,56	8,75	7,25	7,97	7,25	10,63

	31	32	33	35	36	31	32	33	35	36
A	5,31	5,35	6,06	6,92	11,51	5,35	5,45	6,12	6,95	11,55
B	5,13	5,3	5,46	6,74	10,41	5,15	5,27	5,51	6,85	10,41
C	5,09	5,09	6,51	7,49	11,35	5,05	5,05	6,45	7,32	11,21
D	5,03	5,72	6,48	7,72	11,38	4,95	5,73	6,38	7,7	11,3
E	5,42	5,92	6,76	7,69	11,47	5,38	5,81	6,75	7,62	11,42
F	4,98	5,97	6,93	7,24	10,54	5,08	6	6,88	7,36	10,5
G	5,48	5,79	6,93	7,77	11,91	5,42	5,65	6,81	7,72	11,87
H	4,98	5,58	6,88	7,57	11,55	5,15	5,65	6,93	7,62	11,72
J	4,69	5,32	6,03	7,18	10,22	4,82	5,51	6,27	7,23	10,31
J	5,8	5,59	6,57	7,29	10,87	5,72	5,45	6,47	7,23	10,72
K	5,12	5,86	6,58	7,23	11,18	5,26	5,91	6,58	7,23	11,2
L	5,52	6,6	6,65	6,69	11,04	5,72	6,78	6,83	6,82	11,18
	41	42	43	45	46	41	42	43	45	46
A	5,13	5,36	6,33	7,02	11,53	5,2	5,28	6,28	7,03	11,49
B	4,86	5,2	5,85	6,57	10,87	4,97	5,15	5,75	6,59	11,03
C	5,09	5,44	6,63	7,9	11,17	4,99	5,33	6,46	7,78	11,08
D	5,03	5,62	5,73	7,01	10,62	4,95	5,58	5,83	7,05	10,62
E	5,42	5,89	6,34	7,76	11,27	5,38	5,81	6,4	7,74	11,28
F	4,98	6,06	6,59	7,18	10,71	5,08	6,13	6,71	7,22	10,63
G	5,46	6,6	7,67	7,23	11,5	5,32	6,47	7,53	7,18	11,43
H	5,22	5,85	7,16	7,63	11,09	5,32	5,92	7,23	7,72	11,15
J	4,68	5,32	6,27	6,8	10,25	4,72	5,43	6,41	6,91	10,32
J	5,5	6,06	6,31	7,42	11,18	5,43	6	6,25	7,41	11,18
K	5,17	5,34	5,93	8,05	10,82	5,25	5,47	6,12	8,15	10,85
L	5,16	5,85	6,93	6,91	10,85	5,23	6,03	7,13	7,14	10,98

Lampiran 2

Hasil pengukuran jarak interkaninus dan intermolar gigi secara manual dan digital

Sampel		Manual		Digital	
		Interkaninus	Intermolar	Interkaninus	Intermolar
Rahang atas	A	35.44	50.01	35.52	50.13
	B	31.72	52.4	31.85	52.53
	C	33.84	48.89	33.62	48.97
	D	33.96	48.81	33.86	48.75
	E	37.06	55.5	37.18	55.58
	F	33.23	47.29	33.35	47.35
	G	34.57	50.45	34.48	50.37
	H	35.65	53.4	35.73	53.52
	I	32.63	52.22	32.76	52.34
	J	37.65	51.11	37.56	51.12
	K	36.26	48.46	36.34	48.51
	L	34.92	47.08	35.01	47.21
Rahang bawah	A	26.73	42.09	26.58	42.17
	B	23.81	46.17	23.72	46.24
	C	25.18	41.05	25.26	41.18
	D	25.2	40.59	25.32	40.52
	E	26.47	47.43	26.52	47.52
	F	26.6	42.96	26.71	42.87
	G	26.45	42.75	26.53	42.69
	H	27.9	47.25	27.98	47.14
	I	25.33	45.55	25.45	45.48
	J	27.83	40.26	27.74	40.31
	K	27.81	40.71	27.72	40.82
	L	27.47	39.06	27.41	39.17

**Nilai selisih antara pengukuran lebar mesiodistal
gigi secara manual dan digital**

Sampel	Selisih antara pengukuran manual dan digital				
	11	12	13	15	16
A	0,17	0,1	0,02	0,08	0,02
B	0,01	0,25	0,18	0,01	1,3
C	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03
D	0,06	0,12	0,14	0,08	0,02
E	0,01	0,12	0,1	0,04	0,04
F	0	0,16	0,07	0,05	0,05
G	0,03	0,07	0,09	0,03	0,07
H	0,11	0,11	0,14	0,04	0,02
I	0,14	0,13	0,12	0,04	0,13
J	0,03	0,12	0,11	0,05	0,07
K	0,14	0,15	0,15	0,08	0,1
L	0,07	0,18	0,22	0,18	0,06
	21	22	23	25	26
A	0,07	0,07	0,06	0,09	0,11
B	0,09	0,17	0,15	0,04	0,04
C	0,04	0,13	0,15	0	0
D	0,03	0,07	0,02	0,08	0,15
E	0,09	0,06	0,13	0,07	0,03
F	0,02	0,01	0,04	0,01	0,07
G	0,13	0,18	0,13	0,03	0,05
H	0,06	0,1	0,07	0,21	0,08
I	0,21	0,06	0,14	0,05	0,05
J	0,17	0,18	0,09	0,01	0,03
K	0,12	0,32	0,2	0,07	0,01
L	0,17	0,2	0,12	0,18	0,07

	31	32	33	35	36
A	0,04	0,1	0,06	0,03	0,04
B	0,02	0,03	0,05	0,11	0
C	0,04	0,04	0,06	0,17	0,14
D	0,08	0,01	0,1	0,02	0,08
E	0,04	0,11	0,01	0,07	0,05
F	0,1	0,03	0,05	0,12	0,04
G	0,06	0,14	0,12	0,05	0,04
H	0,17	0,07	0,05	0,05	0,17
I	0,13	0,19	0,24	0,05	0,09
J	0,08	0,14	0,1	0,06	0,15
K	0,14	0,05	0	0	0,02
L	0,2	0,18	0,18	0,13	0,14
	41	42	43	45	46
A	0,07	0,08	0,05	0,01	0,04
B	0,11	0,05	0,1	0,02	0,16
C	0,1	0,11	0,17	0,12	0,09
D	0,08	0,04	0,1	0,04	0
E	0,04	0,08	0,06	0,02	0,01
F	0,1	0,07	0,12	0,04	0,08
G	0,14	0,13	0,14	0,05	0,07
H	0,1	0,07	0,07	0,09	0,06
I	0,04	0,11	0,14	0,11	0,07
J	0,07	0,06	0,06	0,01	0
K	0,08	0,13	0,19	0,1	0,03
L	0,07	0,18	0,2	0,23	0,13

Nilai selisih ditulis dalam angka positif.

**Nilai minimum, maksimum, rata-rata dan SD
hasil pengukuran secara manual**

Parameter	Jumlah sampel	Nilai minimum	Nilai maksimum	Nilai rata-rata	SD
Lebar mesiodistal 11	12	6.85	8.59	8.1050	.55376
Lebar mesiodistal 12	12	6.13	7.54	6.8508	.48060
Lebar mesiodistal 13	12	6.63	8.26	7.4442	.47838
Lebar mesiodistal 15	12	6.64	7.42	7.0258	.24810
Lebar mesiodistal 16	12	9.31	11.06	10.3508	.58708
Lebar mesiodistal 21	12	6.50	8.78	8.1942	.66504
Lebar mesiodistal 22	12	5.78	7.45	6.5192	.54897
Lebar mesiodistal 23	12	6.81	8.14	7.5675	.37603
Lebar mesiodistal 25	12	6.47	7.85	7.0333	.38070
Lebar mesiodistal 26	12	9.58	11.53	10.5367	.60598
Lebar mesiodistal 41	12	4.68	5.50	5.1417	.24278
Lebar mesiodistal 42	12	5.20	6.60	5.7158	.41131
Lebar mesiodistal 43	12	5.73	7.67	6.4783	.56348
Lebar mesiodistal 45	12	6.57	8.05	7.2900	.46446
Lebar mesiodistal 46	12	10.25	11.53	10.9883	.37348
Lebar mesiodistal 31	12	4.69	5.80	5.2125	.30281
Lebar mesiodistal 32	12	5.09	6.60	5.6742	.40259
Lebar mesiodistal 33	12	5.46	6.93	6.4867	.43798
Lebar mesiodistal 35	12	6.69	7.77	7.2942	.37064
Lebar mesiodistal 36	12	10.22	11.91	11.1192	.51585
Jarak interkaninus RA	12	31.72	37.65	34.7442	1.77894
Jarak intermolar RA	12	47.08	55.50	50.4683	2.56181
Jarak interkaninus RB	12	23.81	27.90	26.3983	1.29213
Jarak intermolar RB	12	39.06	47.43	42.9892	2.90791

Lampiran 5

**Nilai minimum, maksimum, rata-rata dan SD
hasil pengukuran secara digital**

Parameter	Jumlah sampel	Nilai minimum	Nilai maksimum	Nilai rata-rata	SD
Lebar mesiodistal 11	12	6.71	8.62	8.0525	.57033
Lebar mesiodistal 12	12	6.25	7.65	6.9417	.45780
Lebar mesiodistal 13	12	6.45	8.15	7.4750	.47695
Lebar mesiodistal 15	12	6.65	7.34	7.0517	.25859
Lebar mesiodistal 16	12	9.28	11.08	10.4467	.56482
Lebar mesiodistal 21	12	6.71	8.75	8.2192	.64038
Lebar mesiodistal 22	12	5.71	7.51	6.5550	.60876
Lebar mesiodistal 23	12	6.79	8.15	7.5542	.38306
Lebar mesiodistal 25	12	6.52	7.85	7.0617	.38340
Lebar mesiodistal 26	12	9.53	11.49	10.5192	.61441
Lebar mesiodistal 41	12	4.72	5.43	5.1533	.21227
Lebar mesiodistal 42	12	5.15	6.47	5.7167	.40338
Lebar mesiodistal 43	12	5.75	7.53	6.5083	.54941
Lebar mesiodistal 45	12	6.59	8.15	7.3267	.44359
Lebar mesiodistal 46	12	10.32	11.49	11.0033	.34799
Lebar mesiodistal 31	12	4.82	5.72	5.2542	.27982
Lebar mesiodistal 32	12	5.05	6.78	5.6883	.43541
Lebar mesiodistal 33	12	5.51	6.93	6.4983	.40434
Lebar mesiodistal 35	12	6.82	7.72	7.3042	.31839
Lebar mesiodistal 36	12	10.31	11.87	11.1158	.51806
Jarak interkaninus RA	12	31.85	37.56	34.7717	1.76883
Jarak intermolar RA	12	47.21	55.58	50.5317	2.57734
Jarak interkaninus RB	12	23.72	27.98	26.4117	1.27078
Jarak intermolar RB	12	39.17	47.52	43.0092	2.87843

Lampiran 6

Nilai minimum, maksimum, rata-rata dan SD dari selisih antara pengukuran manual dengan pengukuran digital

Parameter	Jumlah sampel	Nilai minimum	Nilai maksimum	Nilai rata-rata	SD
Lebar mesiodistal 11	12	.00	.17	.0658	.05961
Lebar mesiodistal 12	12	.04	.25	.1292	.05351
Lebar mesiodistal 13	12	.02	.22	.1142	.05791
Lebar mesiodistal 15	12	.01	.18	.0608	.04316
Lebar mesiodistal 16	12	.02	1.30	.1592	.36087
Lebar mesiodistal 21	12	.02	.21	.1000	.06090
Lebar mesiodistal 22	12	.01	.32	.1292	.08522
Lebar mesiodistal 23	12	.02	.20	.1083	.05271
Lebar mesiodistal 25	12	.00	.21	.0700	.06551
Lebar mesiodistal 26	12	.00	.15	.0575	.04224
Lebar mesiodistal 41	12	.04	.14	.0833	.02871
Lebar mesiodistal 42	12	.04	.18	.0925	.04048
Lebar mesiodistal 43	12	.05	.20	.1167	.05211
Lebar mesiodistal 45	12	.01	.23	.0700	.06424
Lebar mesiodistal 46	12	.00	.16	.0617	.04988
Lebar mesiodistal 31	12	.02	.20	.0917	.05734
Lebar mesiodistal 32	12	.01	.19	.0908	.06156
Lebar mesiodistal 33	12	.00	.24	.0850	.06908
Lebar mesiodistal 35	12	.00	.17	.0717	.05042
Lebar mesiodistal 36	12	.00	.17	.0800	.05721
Jarak interkaninus RA	12	.08	.22	.1108	.03942
Jarak intermolar RA	12	.01	.13	.0867	.03798
Jarak interkaninus RB	12	.05	.15	.0933	.02774
Jarak intermolar RB	12	.05	.13	.0867	.02425

**Uji normalitas hasil pengukuran
secara manual dan digital**

Parameter	Shapiro-Wilk	
	Df	Sig.(p)
Lebar mesiodistal 11	24	.000*
Lebar mesiodistal 12	24	.218
Lebar mesiodistal 13	24	.492
Lebar mesiodistal 15	24	.045*
Lebar mesiodistal 16	24	.017*
Lebar mesiodistal 21	24	.000*
Lebar mesiodistal 22	24	.220
Lebar mesiodistal 23	24	.638
Lebar mesiodistal 25	24	.050
Lebar mesiodistal 26	24	.159
Lebar mesiodistal 41	24	.674
Lebar mesiodistal 42	24	.159
Lebar mesiodistal 43	24	.156
Lebar mesiodistal 45	24	.399
Lebar mesiodistal 46	24	.481
Lebar mesiodistal 31	24	.650
Lebar mesiodistal 32	24	.069
Lebar mesiodistal 33	24	.006*
Lebar mesiodistal 35	24	.087
Lebar mesiodistal 36	24	.136
Jarak interkaninus RA	24	.668
Jarak intermolar RA	24	.178
Jarak interkaninus RB	24	.034*
Jarak intermolar RB	24	.015*

*nilai $p < 0,05$, berarti distribusi data tidak normal.
 Nilai $p > 0,05$, berarti distribusi data normal.

Lampiran 8

Hasil penghitungan manual dan replikasi (mm)

Sampel	Manual					Manual replikasi				
	11	12	13	15	16	11	12	13	15	16
A	8.41	6.82	7.92	7.18	10.75	8.53	6.67	7.85	7.23	10.64
B	7.17	6.23	6.63	6.64	9.73	7.25	6.14	6.75	6.68	9.91
C	8.17	6.53	7.45	6.95	9.31	8.25	6.71	7.52	7.01	9.44

Sampel	Manual					Manual replikasi				
	21	22	23	25	26	21	22	23	25	26
A	8.58	6.73	7.31	6.96	10.98	8.58	6.73	7.31	6.96	10.98
B	7.27	6.03	7.61	6.69	11.53	7.27	6.03	7.61	6.69	11.53
C	8.09	5.88	7.57	7.85	10.05	8.09	5.88	7.57	7.85	10.05

Sampel	Manual					Manual replikasi				
	31	32	33	35	36	31	32	33	35	36
A	5.31	5.35	6.06	6.92	11.51	5.27	5.28	6.11	6.87	11.47
B	5.13	5.3	5.46	6.74	10.41	5.07	5.27	5.43	6.65	10.37
C	5.09	5.09	6.51	7.49	11.35	5.11	5.11	6.44	7.51	11.28

	Manual					Manual replikasi				
	41	42	43	45	46	41	42	43	45	46
A	5.13	5.36	6.33	7.02	11.53	5.13	5.36	6.33	7.02	11.53
B	4.86	5.2	5.85	6.57	10.87	4.86	5.2	5.85	6.57	10.87
C	5.09	5.44	6.63	7.9	11.17	5.09	5.44	6.63	7.9	11.17

Hasil penghitungan digital dan replikasi (mm)

Sampel	Digital					Digital replikasi				
	11	12	13	15	16	11	12	13	15	16
A	8.58	6.92	7.9	7.26	10.77	8.67	6.85	8.05	7.25	10.77
B	7.18	6.48	6.45	6.65	11.03	7.25	6.32	6.51	6.78	11.27
C	8.15	6.49	7.42	6.9	9.28	8.24	6.32	7.55	6.87	9.35

Sampel	Digital					Digital replikasi				
	21	22	23	25	26	21	22	23	25	26
A	8.65	6.8	7.25	6.87	10.87	8.65	6.8	7.25	6.87	10.87
B	7.18	6.2	7.46	6.65	11.49	7.18	6.2	7.46	6.65	11.49
C	8.05	5.75	7.42	7.85	10.05	8.05	5.75	7.42	7.85	10.05

Sampel	Digital					Digital replikasi				
	31	32	33	35	36	31	32	33	35	36
A	5.35	5.45	6.12	6.95	11.55	5.41	5.51	6.08	7.01	11.45
B	5.15	5.27	5.51	6.85	10.41	5.20	5.35	5.58	6.87	10.39
C	5.05	5.05	6.45	7.32	11.21	5.10	5.05	6.48	7.41	11.18

Sampel	Digital					Digital replikasi				
	41	42	43	45	46	41	42	43	45	46
A	5.2	5.28	6.28	7.03	11.49	5.2	5.28	6.28	7.03	11.49
B	4.97	5.15	5.75	6.59	11.03	4.97	5.15	5.75	6.59	11.03
C	4.99	5.33	6.46	7.78	11.08	4.99	5.33	6.46	7.78	11.08