

PENGUNAAN PESAWAT SINAR-X
DI BIDANG KEDOKTERAN GIGI

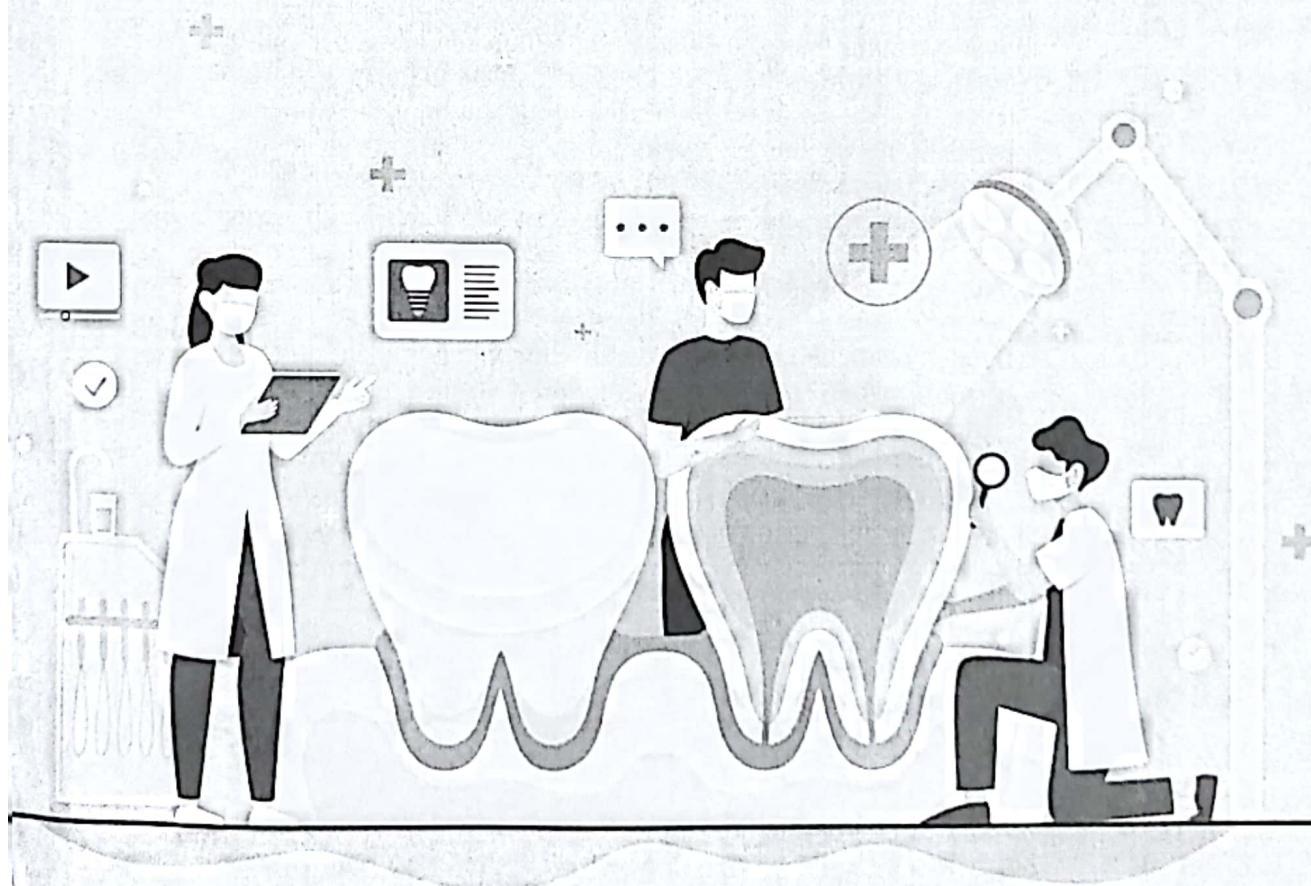
UPDATE TERKINI
PESAWAT SINAR-X
HANDHELD
PORTABEL



FARHAH SEPTINA | FADHLIL U. A. RAHMAN | SANDY PAMADYA
MERRY A. DAMAYANTI | NOVI KURNIATI | ALONGSYAH ZULKARNAEN
EFRIZA N. ROMADHONI | EMY KHOIRONI

**PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X
DI BIDANG KEDOKTERAN GIGI:**

UPDATE TERKINI
PESAWAT SINAR-X
HANDHELD
PORTABEL



Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

**PENGUNAAN PESAWAT SINAR-X DI
BIDANG KEDOKTERAN GIGI:
UPDATE TERKINI
**PESAWAT SINAR-X
HANDHELD PORTABEL****

**Farihah Septina
Fadhlil U. A. Rahman
Sandy Pamadya
Merry A. Damayanti
Novi Kurniati
Alongsyah Zulkarnaen
Efriza N. Romadhoni
Emy Khoroni**



2022

Perpustakaan Nasional RI. Data Katalog dalam Terbitan (KDT)

KREATOR : Fariyah Septina (penulis)
JUDUL DAN PENANGGUNG JAWAB : Penggunaan pesawat di bidang kedokteran gigi :
update terkini pesawat sinar-X *handheld* portable
/Fariyah Septina, Sandy Pamadya, Fadhil Ulum,
Novi, Emy [dan 3 lainnya]
PUBLIKASI : Malang : UB Press, 2022
IDENTIFIKASI : ISBN 978-623-296-435-8
SUBJEK : Gigi -- Radiologi | Kedokteran gigi -- Alat dan
perlengkapan
KLASIFIKASI : 617.607 57 [DDC23]
PERPUSNAS ID : <https://isbn.perpusnas.go.id/kdt/viewkdt?id=0722006084>

Perancang Sampul:
Tim UB Press

Penata Letak:
Tim UB Press

Pracetak dan Produksi:
Tim UB Press

Penerbit:
UB Press



Universitas Brawijaya Press UB Press
Jl. Veteran 10-11 Malang 65145 Indonesia
Gedung INBIS Lt.3
Telp: 0341-5081255
Hp: 0811 3653 899 (Penjualan)
0811 3647 50 (Info Penerbitan)
e-mail: ubpress@gmail.com/ubpress@ub.ac.id
<http://www.ubpress.ub.ac.id>

Cetakan Pertama, Oktober 2022
i-xiii+120 hlm, 15.5 cm x 23.5 cm

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Rights Reserved

**Dilarang keras memfotokopi atau memperbanyak sebagian
atau seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit**



PENGANTAR PAKAR

Radiologi Kedokteran Gigi yang berasal dari bidang ilmu Radiologi Diagnosis, terus berkembang seiring dengan perkembangan IPTEK Kedokteran dan Kedokteran Gigi. Penggunaan berbagai modalitas pencitra diagnostik, baik yang konvensional 2 dimensi, maupun yang modern 3 dimensi merupakan pemeriksaan lanjutan yang dibutuhkan oleh hampir semua bidang klinis. Namun demikian sangat disayangkan, khusus penggunaan modalitas pencitra dengan sumber radiasi ionisasi sinar-X yang berpotensi menimbulkan efek bahaya radiasi ionisasi bagi kesehatan, masih belum diperhatikan sepenuhnya oleh para praktisi. Hal ini mungkin disebabkan sinar pengion seperti sinar-X memang tidak terlihat, dan efek bahayanya juga tidak langsung dapat terlihat. Dengan perkembangan dan kemajuan modalitas pencitra radiografik, penggunaannya juga semakin meningkat. Kemudahan dan kecanggihan alat pencitra radiografik seperti apapun tetap harus mempertimbangkan efeknya yang merugikan.

Disusunnya buku ini merupakan upaya mulia dari para pakar Radiologi Kedokteran Gigi berbagai sentra institusi, sebagai pengingat bagi para mahasiswa, praktisi, klinisi, termasuk penyelenggara pendidikan bidang kedokteran gigi, bahwa prinsip yang harus selalu diingat dan diingatkan adalah bahwa sekecil apapun, radiasi ionisasi dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan, bahkan berbahaya bagi kesehatan.

Saya sangat menghargai dan bersyukur atas inisiatif ini, terutama dikaitkan dengan pemanfaatan sumber radiasi pengion seperti sinar-X yang semakin memudahkan dan disederhanakan, dengan informasi yang salah bahwa alat tersebut 'aman' digunakan. Informasi yang salah mengarah pada penggunaan yang tidak tepat dan tidak bertanggung jawab, sehingga pada gilirannya akan merugikan masyarakat yang menerima pelayanan. Harapan saya buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua, terutama bagi

pengguna sumber radiasi pengion sebagai pengingat akan bahaya radiasi yang dapat merugikan dan membahayakan.

Selamat berkarya terus dalam mengembangkan radiologi kedokteran gigi

Prof. Dr. drg. Hanna H. Bachtiar Iskandar, Sp.RKG(K)
Ketua Kolegium Oral dan Maksilofasial Radiologi



PRAKATA

Perkembangan teknologi imaging di bidang kedokteran gigi berkembang semakin pesat. Hal ini salah satunya disebabkan oleh tingginya demand terhadap pemeriksaan radiografi yang sangat bermanfaat untuk mendukung perawatan kedokteran gigi klinis. Transformasi teknologi analog menjadi sistem digital, dari gambaran dua dimensi menjadi rekonstruksi tiga dimensi, hingga munculnya pesawat handheld portabel merupakan beberapa hal yang menandai perkembangan tersebut. Pesawat sinar-X handheld portabel menjadi hal yang cukup fenomenal di kalangan dokter gigi dan dokter gigi spesialis di Indonesia. Terdapat adanya peningkatan promosi penjualan oleh dental supplier tanpa diimbangi dengan informasi mengenai prinsip proteksi radiasi dan keselamatan radiasi. Berbagai produk pesawat sinar-X handheld portabel yang semakin beragam dengan bentuk yang menarik seperti kamera digital bahkan shotgun. Ukurannya yang kecil, membuat pesawat sinar-X handheld portabel sangat mudah dan praktis digunakan serta dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain, ditambah lagi tawaran harga yang sangat murah jika dibandingkan modalitas radiografi lain, menjadi nilai jual yang sangat menarik bagi para praktisi dokter gigi dan dokter gigi spesialis yang sangat membutuhkan informasi radiologis dalam penegakan diagnosis dan penentuan rencana tata laksana perawatan.

Sayangnya peningkatan penggunaan pesawat sinar-X handheld portabel dalam praktik klinik sehari-hari oleh para sejawat dokter gigi dan dokter gigi spesialis tampaknya belum benar-benar diikuti dengan kesadaran mengenai prosedur proteksi dan keselamatan radiasi yang tepat sesuai dengan prinsip medis dan hukum yang berlaku. Pedoman penggunaan seluruh modalitas radiografi termasuk pada bidang kedokteran gigi telah diatur oleh BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) dan menyebutkan bahwa penggunaan pesawat sinar-X handheld portabel yang awalnya diperuntukkan untuk kebutuhan forensik saat ini dapat digunakan hanya untuk pasien yang sama sekali tidak dapat dibawa ke ruang pemeriksaan radiologi. Sejalan dengan aturan di

Indonesia tentang penggunaan alat ini, beberapa wilayah negara lain di dunia juga masih merekomendasikan penggunaan terbatas disertai dengan serangkaian prasyarat yang harus dipenuhi. Scattered radiation atau radiasi hambur terhadap operator yang mengoperasikan alat merupakan salah satu isu penting yang harus dipertimbangkan dengan baik dalam penggunaan pesawat sinar-X handheld portabel yang dapat meningkatkan potensi efek radiasi. Kurangnya kesadaran oleh pengguna pesawat sinar-X handheld portabel mendorong tim penulis menyusun buku ini sebagai media untuk memberikan edukasi yang benar tentang pesawat sinar-X handheld portabel disertai dengan pedoman keselamatan radiasinya.

Buku berjudul “Penggunaan Pesawat sinar-X di Bidang Kedokteran Gigi : Update terkini Pesawat Sinar-X Handheld Portabel” ini merupakan buku pertama dan satu-satunya yang mengupas tuntas tentang pesawat sinar-X handheld portabel yang dibahas dari berbagai sudut pandang ilmiah termasuk sisi medis dan sisi hukum sehingga diharapkan dapat meningkatkan awareness bagi pengguna alat ini. Buku ini dikemas secara praktis tetapi komprehensif dengan bahasa yang cukup mudah dipahami tetapi tetap bermuatan nilai ilmiah. Besar harapan tim penulis buku ini dapat menjadi panduan kepada dokter gigi dan dokter gigi spesialis untuk senantiasa bijak dalam penggunaan modalitas radiografi termasuk pesawat sinar-X handheld portabel yang mengedepankan prinsip proteksi radiasi secara medis dan aturan perizinan secara hukum legal yang berlaku. .

Tim Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR PAKAR	v
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PROSES TERBENTUKNYA SINAR-X	1
1.1 FISIKA RADIASI	3
1.2 PESAWAT SINAR X	5
1.3 SINAR-X	9
1.4 PROSES TERBENTUKNYA SINAR-X	10
1.5 INTERAKSI SINAR-X DENGAN BAHAN	13
1.6 INTENSITAS SINAR-X	15
BAB 2 BIOLOGI RADIASI	17
2.1 EFEK DETERMINISTIK	23
2.2 EFEK STOKASTIK	25
BAB 3 PROTEKSI RADIASI	31
3.1 PRINSIP PROTEKSI RADIASI	33
3.2 SPESIFIKASI TEKNIK PROTEKSI RADIASI	42
BAB 4 MACAM-MACAM PESAWAT SINAR-X	45
4.1 PERIAPIKAL SINAR-X	48
4.2 PANORAMIK	56
4.3 <i>CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY (CBCT)</i>	58

BAB 5 PERIZINAN PESAWAT SINAR-X	63
5.1 PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN TERKAIT PERIZINAN PESAWAT SINAR-X	65
5.2 TATA CARA PERMOHONAN IZIN PESAWAT SINAR-X	72
5.3 PERIZINAN TERKAIT PESAWAT SINAR-X <i>HANDHELD</i> PORTABLE	74
 BAB 6 PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X <i>HANDHELD</i> <i>PORTABEL</i>	 77
6.1 SEJARAH PERKEMBANGAN DAN INDIKASI PENGGUNAAN PESAWAT <i>HANDHELD PORTABLE</i> <i>DENTAL X-RAY</i>	79
6.2 DASAR HUKUM PENGGUNAAN PESAWAT SINAR- X <i>HANDHELD</i> PORTABLE	82
6.3 KUALITAS RADIOGRAFI PADA PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X <i>HANDHELD</i> PORTABLE	85
6.4 EFEK RADIASI PENGION PADA PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X <i>HANDHELD</i> PORTABLE	86
 BAB 7 EFEK RADIASI TERHADAP LINGKUNGAN	91
7.1 SUMBER RADIASI	93
7.2 RADIASI ALAM	94
7.3 RADIASI BUATAN	95
7.4 PERLINDUNGAN TERHADAP RADIASI ALAM	96
 BAB 8 PESAWAT SINAR-X YANG IDEAL PADA PRAKTIK KEDOKTERAN GIGI	 99
8.1 PERSYARATAN TEKNIS	101
8.2 TARIF PERIZINAN	106
8.3 UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X	106
 BAB 9 KESIMPULAN	109
 DAFTAR PUSTAKA	115
BIOGRAFI PENULIS	119



DAFTAR GAMBAR



Gambar 1.1	Atom Helium Modern	4
Gambar 1.2	Komponen Tabung Pesawat Sinar-X	6
Gambar 1.3	Anoda dan Katoda pada Tabung Pesawat Sinar-X	7
Gambar 1.4	Skema Sirkuit Mesin <i>X-Ray</i> Gigi dan Tabung Sinar-X dengan Komponen Utama Berlabel	9
Gambar 1.5	Proses Terbentuknya Sinar-X Bremstrahlung ..	11
Gambar 1.6	Grafik yang Menunjukkan Kombinasi Energi Foton Spektrum (Dalam Sinar Akhir) untuk Set Sinar-X yang Beroperasi pada 50 kV, 100 kV dan 150 kV	12
Gambar 1.7	Diagram yang mewakili tahapan dalam interaksi fotolistrik	14
Gambar 1.8	Diagram yang Menunjukkan Interaksi Efek Compton	15
Gambar 2.1	Ikhtisar Peristiwa Setelah Manusia Terpapar Radiasi Pengion	19
Gambar 2.2	Aksi Radiasi Langsung dan Tidak Langsung	20
Gambar 2.3	Efek Tidak Langsung dari Radiasi Sinar-X	22
Gambar 2.4	Penyimpangan Kromosom	24
Gambar 4.1	Contoh Perangkat Penghasil Sinar-X <i>modern</i>	49
Gambar 4.2	<i>Fixed Wall-Mounted</i> Sinar-X	50
Gambar 4.3	Pesawat Sinar-X Mobile	50
Gambar 4.4	Mesin Sinar-X Portable	51
Gambar 4.5	Penggunaan Portable Sinar-X Untuk Identifikasi Forensik	53
Gambar 4.6	Contoh Panel Kontrol pada Perangkat Sinar-X Kedokteran Gigi Modern	55
Gambar 4.7	Panoramik Menunjukan Keseluruhan Jaringan Keras dan Lunak Pada Bagian <i>Orofasial</i> Orang Dewasa Termasuk Maksila, Mandibula Gigi Geligi dan Jaringan Periodontal	56
Gambar 4.8	Pesawat Panoramik	57
Gambar 4.9	Pesawat <i>Cone Beam Computed Tomography</i>	59
Gambar 4.10	Klasifikasi Unit <i>Computed Tomography Cone Beam</i> Menurut Field of View (FOV).	60

Gambar 4.11	Sinar-X pada CBCT Berbentuk Tabung	60
Gambar 4.12	Radiogarfi CBCT	61
Gambar 4.13	Radiogarfi CBCT	62
Gambar 5.1	Hierarki Peraturan Perundang-Undangan Terkait Sumber Radiasi Pengion	66
Gambar 5.2	Contoh Gambar Tanda Peringatan Bahaya Radiasi	71
Gambar 5.3	Alur Permohonan Izin Pesawat Sinar-X Baru dan Perpanjangan	73
Gambar 7.1	Diagram Sumber Radiasi Alam	94
Gambar 7.2	Diagram Sumber Radiasi Buatan	96
Gambar 7.3	Mekanisme Pergerakan Radon di Dalam Ruangan	97



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Radiosensitivitas Relatif dari Berbagai Sel	25
Tabel 2.2	Perbandingan Efek Deterministik dan Stokastik akibat paparan radiasi	26
Tabel 2.3	Dosis Khas dari Pemeriksaan Radiografi	28
Tabel 2.4	Kerentanan Organ yang Berbeda terhadap Kanker yang Diinduksi Radiasi	30
Tabel 3.1	<i>Weighting Factor</i> (WT) Jaringan Tubuh Oleh ICRP pada Tahun 1990 dan Pembaharuan pada Tahun 2007	36
Tabel 3.2	Tabel Nilai batas dosis Per tahun	37
Tabel 7.1	Rata-Rata Dosis Efektif Radiasi Pengion	93
Tabel 8.1	Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (I-DRL)	108



BAB 1

PROSES TERBENTUKNYA SINAR-X

1.1 FISIKA RADIASI

1.1.1 Komposisi Materi

Semua hal yang mempunyai massa dan mengisi ruang disebut dengan materi, yang terjadi dalam tiga keadaan: padat, cair, dan gas. Atom, satuan dasar dari materi, tidak terbagi secara kimia meskipun tersusun dari banyak partikel yang lebih kecil (subatom). Bohr melihat atom sebagai miniatur tata surya dengan inti di pusat dan elektron yang berputar. Meskipun pandangan klasik tentang atom memiliki keutamaan yang mudah dipahami, telah digantikan dalam beberapa dekade terakhir oleh model standar, yang menggambarkan partikel dasar, dan model mekanik kuantum, yang menggambarkan susunan elektron dalam atom (White dan Pharoah, 2009).

1.1.2 Atom dan Inti atom

Saat seluruh materi di dunia dibagi menjadi kecil, terciptalah zat yang disebut atom. Atom juga dapat diartikan sebagai elemen paling kecil suatu bahan dengan sifat seperti bahan tersebut. Bohr mengungkapkan bahwa atom tersusun atas proton dan neutron yang merupakan inti atom positif, elektron negatif mengelilingi inti melalui orbit (Hiswara, 2015).

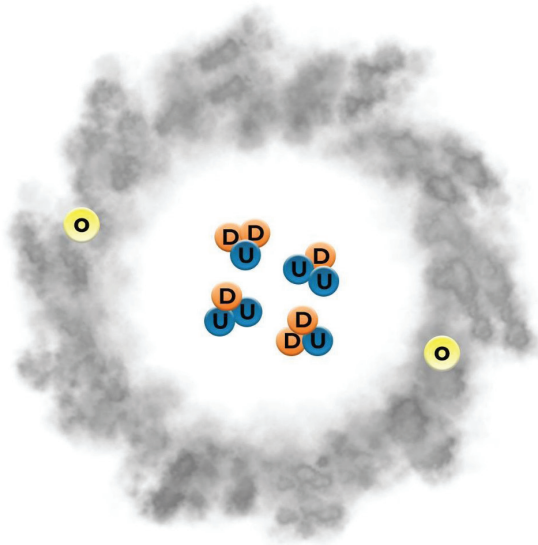
Total proton dalam inti atom disebut dengan nomor atom (Z). Neutron disimbolkan dengan N merupakan jumlah neutron pada inti atom. Jumlah dari total proton ditambah total neutron di inti atom menghasilkan nomor massa atom ($A=Z+N$). Seluruh atom yang memiliki nomor atom yang sama (Z) tetapi nomor massa atom yang berbeda (A) sehingga total neutron menjadi berbeda (N) disebut dengan isotop. Sedangkan radioisotop merupakan isotop dengan inti ketidakstabilan yang mengalami perpecahan radioaktif (Whaites dan Drages, 2013).

Proton bermassa $1,66 \times 10^{-27}$ kg terdapat muatan positif $1,6 \times 10^{-19}$ coulombs. Neutron bermassa $1,70 \times 10^{-27}$ kg sebagai pengikat dalam inti dan menahannya bersama-sama dengan melawan gaya tolak - menolak antara proton. Elektron bermassa $1/1840$ dari massa proton bergerak dalam lingkaran yang telah ditentukan atau orbit di sekitar nukleus. Kulit menggantikan tingkat energi yang berbeda dan diberi label K, L, M, N, O keluar dari inti. Satuan energi dalam sistem atom adalah elektron volt (eV), $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ joule (Whaites dan Drages, 2013).

1.1.3 Elektron Orbital

Urutan elektron dalam atom dijelaskan melalui model mekanika kuantum. Dimulai dengan karya Schrödinger, elektron merupakan partikel kecil yang memiliki sifat bagai partikel (seumpama, elektron mempunyai massa) dan bersifat bagai gelombang (seumpama, mereka menghasilkan pola intervensi). Saat ini dikenal istilah orbital, yang merupakan teori elektron yang berada di volume tiga dimensi (White dan Pharoah, 2009).

Setiap jenis orbital dicirikan oleh himpunan bilangan kuantum n , l , dan m . Seluruh atom mempunyai gaya tarik elektrostatis antara inti dan elektron. Total energi yang dibutuhkan sehingga dapat melepaskan elektron dari orbital tertentu patut melampaui gaya tarik elektrostatis antara hal tersebut dan nukleus yang dinamakan electron bonding energy (White dan Pharoah, 2009).



Sumber: Dokumen Penulis, 2009

Gambar 1.1 Atom Helium Modern

Pandangan modern atom helium menunjukkan inti dengan dua proton, masing-masing terdiri dari dua quark atas (U) dan satu quark bawah (D), dua neutron, masing-masing terbuat dari satu quark atas dan dua quark bawah, dan dua elektron di sekitarnya dalam spherical orbital.

1.1.4 Ionisasi dan Radiasi

Radiasi dalam kosakata fisika dapat diartikan sebagai pancaran. Radiasi merupakan suatu proses ketika suatu atom melepaskan energi. Ionisasi merupakan proses berubahnya atom maupun molekul menjadi ion dengan cara menambah atau mengurangi elektron. Atom-atom dalam keadaan dasar bersifat elektrik netral karena banyaknya muatan positif (proton) seimbang dengan jumlah negatif muatan (elektron). Jika elektron dilepaskan, atom tidak lagi netral, tetapi memiliki muatan positif (ion positif). Proses dari pelepasan elektron dari atom disebut ionisasi. Jika sebuah elektron dipindahkan dari kulit dalam ke kulit terluar (yaitu ke tingkat energi yang lebih tinggi), atom tetap netral tetapi dalam keadaan tereksitasi. Proses ini disebut eksitasi (Whaites dan Drages, 2013).

Radiasi elektromagnetik adalah pergerakan energi melalui ruang sebagai kombinasi medan listrik dan magnet, yang dihasilkan ketika kecepatan partikel bermuatan listrik diubah. Sinar-X, sinar ultraviolet, cahaya tampak, radiasi inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio merupakan contoh radiasi elektromagnetik (White dan Pharoah, 2009). Radiasi elektromagnetik atau partikel yang dapat menghasilkan ion disebut dengan radiasi pengion. Energi yang dimiliki suatu radiasi pengion mampu melewati suatu bahan (Peraturan Pemerintah RI, 2007). Radiasi pengion meliputi sinar alfa, sinar beta, sinar gamma, sinar-X, neutron. Dalam bab ini akan dibahas mengenai sinar-X.

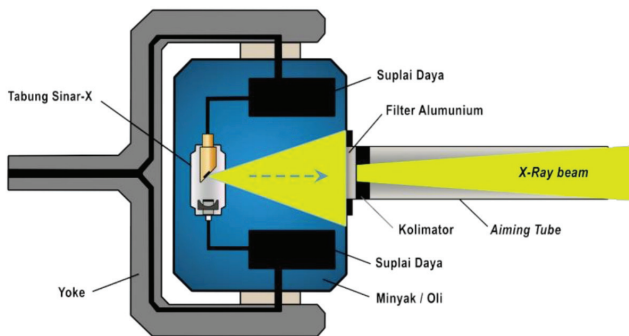
1.2 PESAWAT SINAR X

Sinar-X diproduksi di mesin yang disebut sebagai peralatan pembangkit sinar-X. Bagian penghasil sinar-X disebut sebagai tube head (kepala tabung), di dalamnya terdapat selubung kaca kecil yang dinamakan tabung sinar-X. Sinar-X terbentuk di dalam tabung ketika elektron-elektron berkecepatan tinggi mengenai target dan berhenti secara tiba-tiba (Whaites dan Drage, 2013).

Mesin sinar-X memproduksi sinar-X yang mampu melalui jaringan manusia kemudian menuju digital receptor atau film untuk membentuk suatu citra. Bagian utama mesin sinar-X adalah tube sinar-X dan pencatu daya yang ditempatkan di dalam kepala tabung. Untuk unit sinar-X intraoral, head tube disokong oleh lengan yang

menempel di dinding. Panel kontrol berfungsi untuk mengatur durasi pemaparan, energi, dan tingkat pemaparan berkas sinar-X. materi isolasi listrik, biasanya menggunakan minyak, yang tersebar merata di tabung dan transformator. Tabung terletak di head tube untuk meningkatkan jarak sumber ke objek dan meminimalkan distorsi (Mallya dan Lam, 2018).

Komponen utama dari alat sinar-X adalah tabung sinar-X, power supply dan timer (White dan Pharoah, 2009).



Sumber: Septina, 2021

Gambar 1.2 Komponen tabung pesawat sinar-X

1.2.1 Tabung sinar-X

Suatu tube sinar-X meliputi katoda dan anoda yang terletak di dalam envelope glass. Elektron mengalir dari filamen di katoda ke target di anoda, sehingga kedua bagian tersebut menghasilkan sinar-X. Supaya tabung sinar-X optimal, catu daya sebagai pemanas filamen katoda sehingga dapat memproduksi elektron dan potensial tegangan tinggi antara anoda dan katoda yang mempercepat elektron menuju anoda dapat terbentuk (White dan Pharoah, 2009).

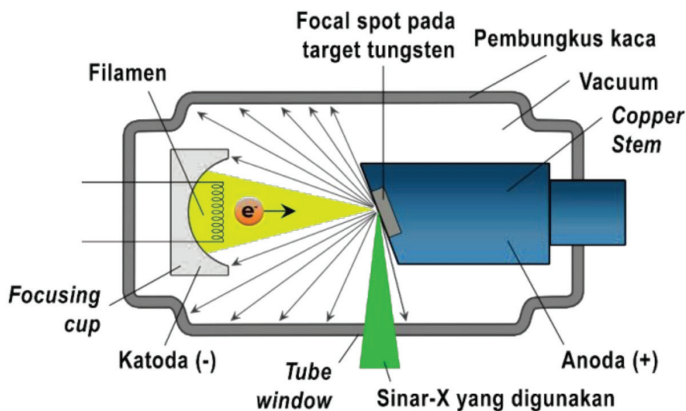
a. Katoda

Katoda dalam tabung sinar-X terdiri dari filamen dan focusing cup. Filamen adalah sumber elektron di dalam tabung sinar-X, yang merupakan gulungan kawat tungsten dengan diameter sekitar 2 mm dan panjang kurang dari 1 cm. Dipasang pada dua kabel kaku yang berfungsi untuk menopang dan membawa arus listrik. Kedua

kabel tersebut mengarah melalui envelope glass dan tersambung ke sumber listrik tegangan tinggi dan rendah. Filamen dipanaskan oleh aliran arus dari sumber tegangan rendah hingga berpijar dan memancarkan elektron pada tingkat sebanding dengan suhu filamen (White dan Pharoah, 2009).

b. Anoda

target dalam tabung sinar-X adalah untuk mengubah energi kinetik dari elektron yang bertabrakan menjadi foton sinar-X. Tungsten merupakan bahan “target”, elemen yang memiliki beberapa karakteristik dari bahan target yang ideal. Target yang terbuat dari bahan dengan nomor atom tinggi paling efisien dalam menghasilkan sinar-X. Titik fokus adalah area pada target yang menjadi tujuan focusing cup mengarahkan elektron dari mana sinar-X dihasilkan. Ketajaman gambar radiografi meningkat seiring dengan ukuran titik fokus yang kecil (White dan Pharoah, 2009).



Sumber: Septina, 2021

Gambar 1.3 Anoda dan katoda pada tabung pesawat sinar-X

1.2.2 Power supply

Fungsi utama power supply pesawat sinar-X adalah menyediakan arus tegangan rendah untuk memanaskan tabung sinar-X dan menghasilkan selisih potensial tinggi antara anoda dan katoda. Tabung sinar-X dan dua trafo terletak di kepala mesin sinar-X. Sebuah bahan isolasi listrik, biasanya minyak, mengelilingi tabung dan transformer (White dan Pharoah, 2009).

Arus tabung

Arus tabung adalah aliran elektron melalui tabung yaitu, dari filamen katoda, melintasi tabung ke anoda, dan kemudian kembali ke filamen. Transformator filamen mengurangi tegangan arus bolak-balik (AC) yang masuk menjadi sekitar 10 volt dalam rangkaian filamen. Tegangan ini diatur oleh kontrol arus filamen (mA selector), yang menyesuaikan resistansi dan dengan demikian arus mengalir melalui filamen sehingga mengatur suhu filamen dan jumlah elektron yang dipancarkan. Pengaturan mA pada kontrol arus filamen sebenarnya mengacu pada arus tabung, biasanya sekitar 10 mA, yang diukur dengan miliameter. Hal tersebut tidak sama dengan arus pada rangkaian filamen (White dan Pharoah, 2009).

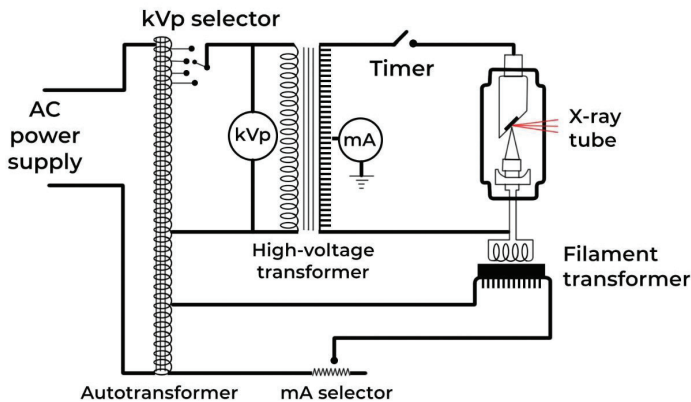
Tegangan tabung

Tegangan tinggi diperlukan antara anoda dan katoda untuk memberikan elektron cukup energi untuk menghasilkan sinar-X. Tegangan aktual yang digunakan pada mesin sinar-X diatur dengan autotransformer. Dengan menggunakan kVp selector, operator menyesuaikan autotransformator dan mengubah tegangan primer dari input sumber ke tegangan sekunder yang diinginkan. Tegangan sekunder yang dipilih diterapkan ke primary winding transformator tegangan tinggi, yang meningkatkan tegangan puncak arus saluran masuk (110 V) hingga 60.000 hingga 100.000 V (60 hingga 100 kV). sehingga meningkatkan energi puncak elektron melewati tabung setinggi 60 sampai 100 keV dan memberikan energi yang cukup untuk menghasilkan sinar-X (White dan Pharoah, 2009).

1.2.3 Timer

Sebuah timer pada sirkuit tegangan tinggi digunakan untuk mengontrol durasi paparan sinar-X. Timer elektronik mengontrol lamanya waktu tegangan tinggi diterapkan ke tabung dan agar arus tabung mengalir sehingga menghasilkan sinar-X. Namun, sebelum tegangan tinggi diterapkan di seluruh tabung, filamen harus dalam suhu operasional untuk memastikan tingkat emisi elektron yang memadai. Untuk meminimalkan kerusakan filamen, rangkaian pengatur waktu terlebih dahulu mengirimkan arus melalui filamen selama sekitar setengah detik untuk membawanya ke suhu operasional yang tepat dan kemudian menerapkan daya ke tegangan tinggi. Dalam beberapa desain sirkuit, arus tingkat rendah

yang terus-menerus mengalir melalui filamen mempertahankannya pada suhu rendah yang aman, sehingga selanjutnya memperpendek penundaan untuk memanaskan filamen terlebih dahulu. Untuk alasan-alasan ini mesin sinar-X dapat dibiarkan menyala terus-menerus selama jam bekerja (White dan Pharoah, 2009).



Sumber: Dokumen Penulis, 2022

Gambar 1.4 Skema Sirkuit Mesin X-Ray Gigi dan Tabung Sinar-X dengan Komponen Utama Berlabel.

1.3 SINAR-X

Penemu Sinar-X adalah Roentgen di tahun 1895. Karena asalnya tidak diketahui, maka disebut dengan sinar-X yang termasuk ke kelompok radiasi elektromagnetik energi besar. Sinar-X dihasilkan secara ekstranuklear dari interaksi elektron dengan inti atom besar dalam mesin sinar-X (White dan Pharoah, 2009). Sinar-X tersusun atas paket gelombang energi. Tiap- tiap paket disebut foton yang sebanding satu kuantum energi, jutaan foton dihasilkan oleh pesawat sinar-X diagnostik (Whaites and Drage, 2013).

Menurut Whaites dan Drage (2013), sinar-X memiliki sifat dan karakteristik utama sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Sinar-X adalah paket gelombang radiasi elektromagnetik yang berasal dari tingkat atom.
- 2) Setiap paket gelombang setara dengan kuantum energi dan disebut foton.

- 3) Sinar-X terdiri dari jutaan foton.
- 4) Intensitas dan kualitas sinar-X diagnostik dapat bervariasi. Intensitas adalah jumlah atau kuantitas foton sinar-X dalam berkas, sedangkan kualitas adalah energi yang dibawa oleh foton sinar-X yang merupakan ukuran foton daya tembus.
- 5) Faktor-faktor yang dapat memengaruhi intensitas dan kualitas sinar meliputi ukuran tegangan tabung (kV), ukuran arus tabung (mA), jarak dari target (d), waktu atau lama eksposur (t), filtrasi, material target, dan bentuk gelombang tegangan tabung.
- 6) Di ruang bebas, sinar-X bergerak dalam garis lurus.
- 7) Di ruang bebas, sinar-X mengikuti hukum kuadrat terbalik, yaitu: $\text{intensitas} = 1/d^2$
- 8) Kecepatan di ruang bebas adalah $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$.
- 9) Menggandakan jarak dari sumber sinar-X akan mengurangi intensitas menjadi $1/4$ (prinsip yang sangat penting dalam proteksi radiasi).
- 10) Tidak ada media yang dibutuhkan untuk propagasi.
- 11) Sinar-X mampu menembus jarak yang lebih jauh karena panjang gelombangnya lebih pendek sehingga mempunyai energi yang besar.
- 12) Apabila sinar-X memiliki panjang gelombang yang lebih panjang kadang-kadang disebut sebagai sinar-X lembut, memiliki lebih sedikit energi dan memiliki daya tembus yang kecil.
- 13) Materi dapat melemahkan energi sinar-X, dengan cara diserap atau dihamburkan.
- 14) Sinar-X mampu menghasilkan ionisasi (dan kerusakan biologis pada jaringan hidup), oleh karena itu disebut sebagai radiasi pengion.
- 15) Indra manusia tidak dapat mendeteksi sinar-X.
- 16) Terbentuknya radiograf disebabkan oleh emulsi film yang dipengaruhi oleh sinar-X.

1.4 PROSES TERBENTUKNYA SINAR-X

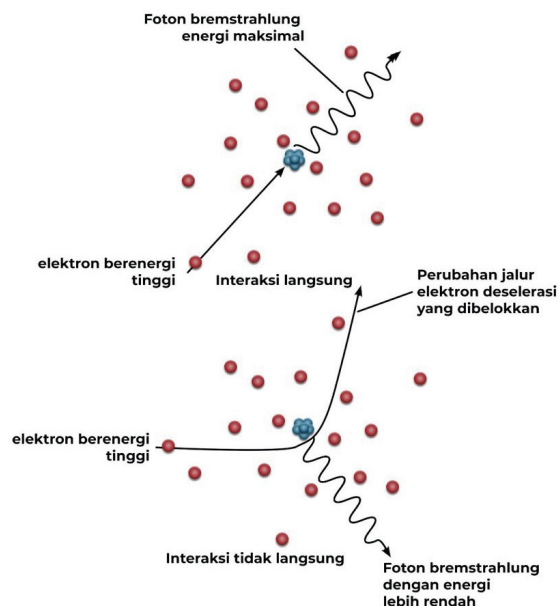
Dalam envelope glass yang vakum udara, sinar-X diproduksi, terdapat katoda berupa filamen sedangkan anoda sebagai target. Ketika terdapat energi listrik yang masuk, filamen dipanaskan hingga terbentuk awan-awan elektron. Elektron bergerak dengan kecepatan tinggi hingga menabrak bidang anoda yang disebabkan oleh perbedaan potensial yang tinggi antara anoda dan katoda.

Sehingga terbentuk radiasi sinar-X kurang lebih 1% dari jumlah energi yang disalurkan dan pada katoda akan terbentuk panas sekitar 99% (Bushong, 2013).

1.4.1 Proses Terbentuknya Sinar-X Bremstrahlung

Kata “Bremstrahlung” berasal dari bahasa Jerman yang berarti radiasi pengereman. Ketika elektron proyektil berenergi kinetik berinteraksi dengan area inti atom maka elektron akan berhenti tiba-tiba atau diperlambat, hal tersebut karena perbedaan muatan antara elektron dan inti atom, dimana elektron bermuatan negatif sedangkan inti atom bermuatan positif. Elektron kehilangan energi ketika diperlambat oleh inti atom, sehingga berubah arah. Energi yang hilang disebut dengan sinar-X bremsstrahlung (White dan Pharoah, 2009).

Interaksi Bremsstrahlung menghasilkan foton sinar-X dengan spektrum energi yang terus-menerus. Energi sinar-X biasanya dijelaskan dengan mengidentifikasi tegangan tabung (dalam kVp). Pesawat sinar-X yang beroperasi pada tegangan maksimal 70 kVp, menerapkan tegangan berfluktuasi hingga 70 kVp di seluruh tabung. Oleh karena itu, tabung ini menghasilkan spektrum terus-menerus dari foton sinar-X dengan energi mulai maksimal 70 keV.



Sumber: Dokumen Penulis, 2022

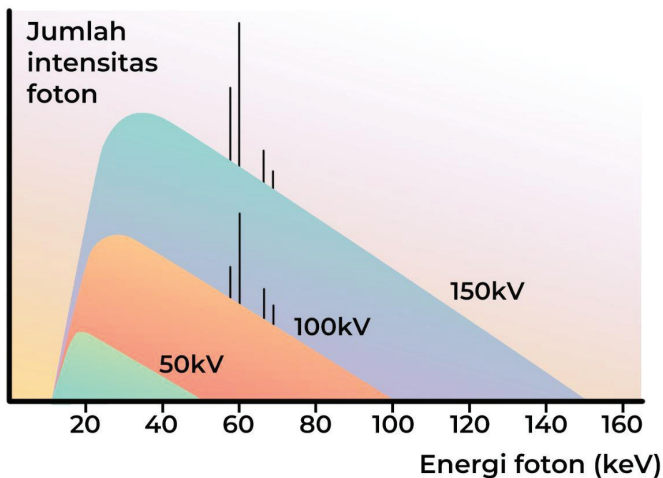
Gambar 1.5 Proses terbentuknya sinar-X Bremstrahlung

1.4.2 Proses Terbentuknya Sinar-X Karakteristik

Hanya terdapat sedikit sinar-X karakteristik di dalam berkas sinar-X, hal tersebut karena elektron proyektil berenergi kinetik tinggi membebaskan elektron dari kulit atom tertentu dari orbitnya. Ketika elektron terlempar dari orbit tersebut akan mengalami perpindahan elektron dari orbital terluar dengan cepat ditarik ke ruang kosong di orbital dalam. Ketika elektron orbital terluar menggantikan elektron yang dipindahkan, sebuah foton dipancarkan dengan energi setara dengan perbedaan dalam dua energi ikat orbital. Hal ini membuat energi sinar-X karakteristik bersifat diskrit karena mewakili perbedaan tingkat energi tingkat orbital elektron dan karenanya adalah karakteristik dari atom target (White dan Pharoah, 2009).

1.4.3 Spektrum Gabungan

Pada peralatan sinar-X yang beroperasi di atas 69,5 kV, spektrum total akhir dari berkas sinar-X yang berguna akan menjadi penambahan spektrum kontinu dan karakteristik.



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 1.6 Grafik yang Menunjukkan Kombinasi Energi Foton Spektrum (dalam Sinar Akhir) untuk Set Sinar-X yang Beroperasi pada 50 Kv, 100 Kv dan 150 Kv

1.5 INTERAKSI SINAR-X DENGAN BAHAN

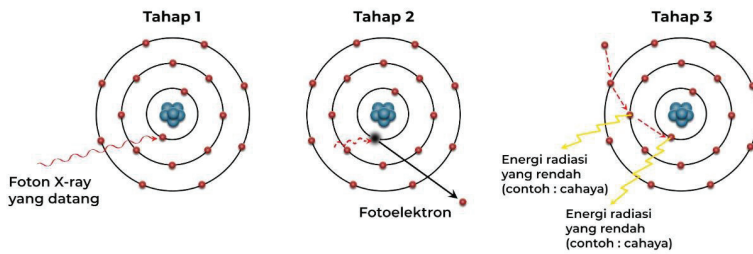
Kemungkinan yang dapat terjadi saat sinar-X menembus materi, meliputi; tidak kehilangan energi ketika tersebar, diserap namun kehilangan seluruh energi, hilangnya energi saat tersebar disertai proses penyerapan, dan ditransmisikan tidak berubah (Whaites dan Drage, 2013).

Hamburan merupakan perubahan arah foton dengan atau tanpa kehilangan energi. Penyerapan atau pengendapan energi, yaitu penghilangan energi dari berkas. Atenuasi merupakan pengurangan intensitas sinar X-ray utama yang disebabkan oleh penyerapan dan hamburan atenuasi = Penyerapan + Hamburan (Whaites dan Drage, 2013).

1.5.1 Efek Fotolistrik

Interaksi absorpsi murni yang didominasi foton berenergi rendah disebut dengan efek fotolistrik. Tahapan dalam efek fotoelektrik meliputi (Whaites dan Drage, 2013):

- a. Foton sinar-X yang masuk berhubungan dengan elektron kulit bagian dalam yang terikat dari atom jaringan.
- b. Elektron pada kulit bagian dalam dikeluarkan oleh energi yang cukup besar (fotoelektron) masuk ke jaringan kemudian mengalami interaksi lanjutan.
- c. Foton sinar-X hilang setelah keseluruhan energinya mengendap. Oleh karena itu, salah satu prosesnya adalah absorpsi murni.
- d. Elektron pada kulit terluar turun di satu kulit ke kulit lainnya untuk mengisi kekosongan di kulit elektron dalam.
- e. Pembentukan energi rendah radiasi (misal; cahaya) yang cepat diserap dihasilkan oleh elektron yang turun ke tingkat energi baru.
- f. Penangkapan elektron bebas mengembalikan atom ke keadaan netralnya melalui proses stabilitas atom.
- g. Fotoelektron yang dikeluarkan berenergi tinggi bersifat seperti foton sinar-X energi tinggi asli, saat melalui jaringan; mengalami banyak interaksi yang sama dan mengeluarkan elektron lain. Energi tinggi yang dikeluarkan elektron tersebut menyebabkan sebagian besar interaksi ionisasi di jaringan, yang memungkinkan kerusakan akibat sinar X.



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

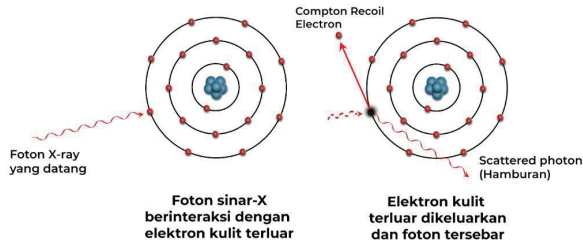
Gambar 1.7 Diagram yang Mewakili Tahapan Dalam Interaksi Fotolistrik

Tahap 1: Foton sinar-X berinteraksi dengan elektron kulit dalam. Tahap 2: Elektron kulit dalam adalah dikeluarkan dan foton sinar-X benar-benar terserap Tahap 3 : Elektron kulit terluar mengalir masuk untuk mengisi kekosongan kulit dalam dan energi diberikan dalam bentuk radiasi energi yang sangat rendah (misalnya cahaya).

1.5.2 Efek Compton

Proses absorpsi dan hamburan yang didominasi dengan foton energi yang lebih tinggi disebut efek compton (Whaites dan Drage, 2013).

- Elektron kulit terluar yang bebas atau terikat dari atom jaringan berinteraksi dengan foton sinar-X.
- Elektron kulit terluar yang keluar (compton recoil electron) kehilangan sebagian dari energi foton yang diterima, karena terjadi absorpsi. Interaksi pengion pada jaringan seperti sebelumnya dialami elektron yang dikeluarkan.
- Energi foton tersisa yang masuk dihamburkan dari trek aslinya sebagai foton yang tersebar.
- Foton tersebut kemudian dapat: mengalami interaksi Compton lebih lanjut di dalam jaringan, mengalami interaksi fotolistrik di dalam jaringan, lepas dari jaringan; foton inilah yang membentuk radiasi hamburan yang menjadi perhatian dalam lingkungan klinis.
- Stabilitas atom kembali dicapai dengan menangkap elektron bebas lainnya.



Sumber : Dokumen Penulis, 2022.

Gambar 1.8 Diagram yang Menunjukkan Interaksi Efek Compton

1.6 INTENSITAS SINAR-X

Besarnya energi sinar-X yang menembus melalui penampang seluas 1 cm² per satuan waktu disebut dengan intensitas sinar-X, yang dipengaruhi oleh waktu, laju paparan (arus tabung), energi, kolimasi dan jarak.

1.6.1 Waktu

Ketika terjadi perubahan dalam durasi paparan, maka jumlah foton yang dihasilkan juga akan berubah. Ketika waktu paparan digandakan, jumlah foton yang dihasilkan pada semua energi dalam spektrum emisi sinar-X menjadi dua kali lipat. Ketika terjadi peningkatan waktu eksposur, tetapi kvp tidak berubah maka energi yang dihasilkan tidak ada perubahan (White dan Pharoah, 2014).

1.6.2 Arus Tabung

Besarnya arus listrik antara anoda dan katoda disebut dengan arus tabung. Kuantitas radiasi yang dihasilkan oleh sinar-X berbanding lurus dengan arus tabung dan waktu tube sinar-X dioperasikan (White dan Pharoah, 2014).

1.6.3 Tegangan tabung

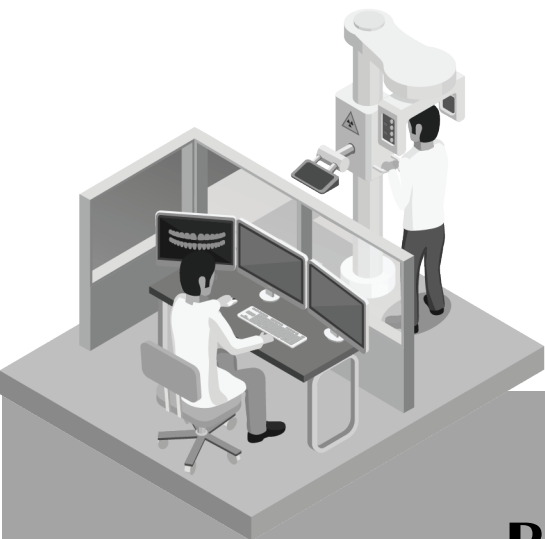
Perbedaan potensial antara poros anoda dan katoda disebut dengan tegangan tabung (White dan Pharoah, 2014).

1.6.4 Kolimasi

Kolimator adalah penghalang yang terbuat dari logam dengan lubang di tengah yang digunakan untuk membatasi ukuran berkas sinar-X dan volume jaringan yang disinari (White dan Pharoah, 2014).

1.6.5 Jarak

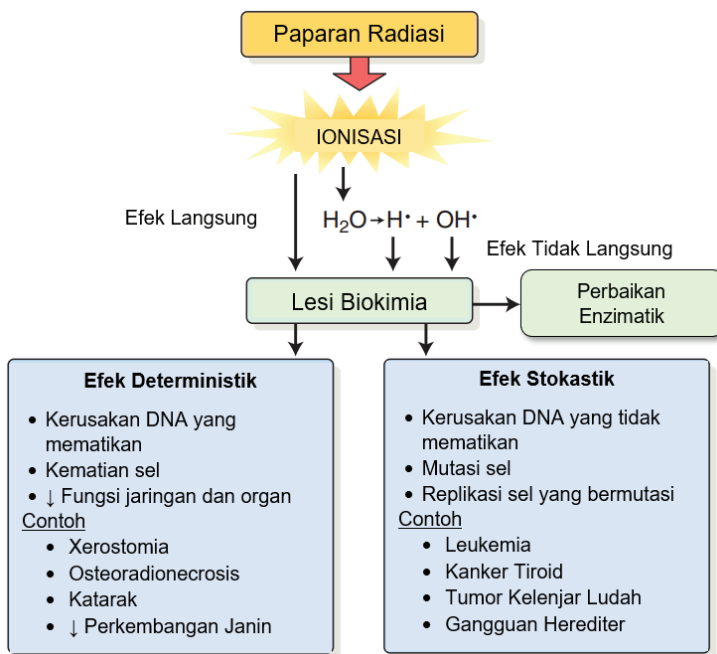
Jarak dari source sinar-X ke reseptor disebut dengan *focus film distance* (White dan Pharoah, 2014).



BAB 2

BIOLOGI RADIASI

Radiobiologi adalah studi tentang efek radiasi pengion pada makhluk hidup. Radiobiologi mempelajari berbagai tingkatan organisasi dalam sistem biologis yang mencakup rentang yang luas dalam ukuran dan waktu (Gambar 2.1). Interaksi awal antara radiasi pengion dan organisme hidup terjadi pada tingkat elektron dalam 10-13 detik pertama setelah paparan. Perubahan ini mengakibatkan modifikasi molekul biologis dalam waktu beberapa detik hingga beberapa jam kemudian. Perubahan molekuler dapat menyebabkan perubahan pada sel dan organisme yang berlangsung berjam-jam, puluhan tahun, dan mungkin beberapa generasi. Perubahan ini dapat menyebabkan cedera atau kematian.



Sumber: White dan Pharoah, 2014

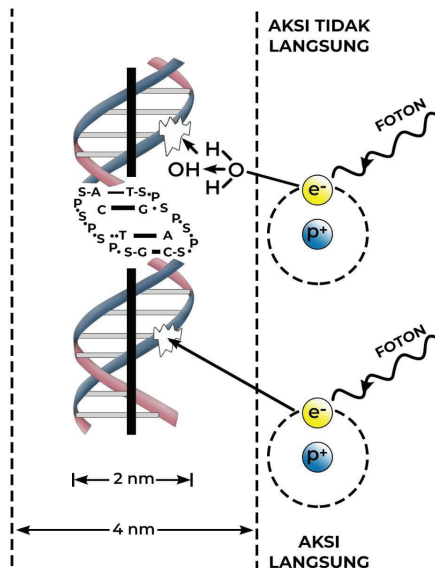
Gambar 2.1 Ikhtisar Peristiwa Setelah Manusia Terpapar Radiasi Pengion

Proses awal ionisasi, efek langsung dan tidak langsung, dan perubahan awal molekul pada molekul organik terjadi dalam waktu kurang dari satu detik. Perbaikan enzimatik atau perkembangan lanjutan lesi biokimia terjadi dalam hitungan menit hingga jam. Efek deterministik dan stokastik terjadi dalam skala waktu berbulan-bulan, dekade hingga generasi.

Radiasi bekerja pada sistem kehidupan melalui aksi langsung (*direct action*) dan tidak langsung (*indirect action*). *Deoxyribonucleic*

acid (DNA) merupakan target kritis dari efek biologis radiasi. Segala bentuk radiasi, baik sinar-X atau sinar-Y, partikel bermuatan atau tidak bermuatan diserap oleh material biologis, memiliki potensi untuk berinteraksi dengan target penting di dalam sel. Atom-atom pada target dapat menjadi terionisasi, memicu rantai peristiwa yang mengarah pada perubahan biologis. Proses ini disebut aksi langsung (*direct action*) radiasi. *Direct action* radiasi adalah inisiator kerusakan yang dominan dari radiasi *Linear Energy Transfer* (LET) tinggi seperti neutron dan partikel alfa (Hall dan Giaccia, 2019).

Dalam aksi langsung (*direct action*) radiasi, molekul biologis menyerap energi dari radiasi pengion dan membentuk radikal bebas yang tidak stabil berupa atom atau molekul yang memiliki elektron yang tidak berpasangan dalam orbital valensi. Radikal bebas sangat reaktif, memiliki jangka hidup yang sangat pendek dan dengan cepat dapat berubah menjadi konfigurasi yang stabil melalui *dissociation* atau *cross-linking*. Radikal bebas memainkan peran penting dalam modifikasi molekuler pada molekul biologis. Molekul biologis yang telah terionisasi akan memiliki struktur dan fungsi yang berbeda dari molekul aslinya, maka akibatnya adalah terjadi perubahan pada organisme yang teradiasi (White dan Pharoah, 2014).



Sumber: Dokumen Penulis, 2022

Gambar 2.2 Aksi Radiasi Langsung dan Tidak Langsung

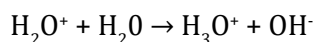
Dalam aksi langsung, elektron sekunder yang dihasilkan dari foton sinar-X yang diabsorpsi berinteraksi langsung dengan DNA sehingga menghasilkan efek. Dalam aksi tidak langsung, elektron sekunder berinteraksi dengan molekul air untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$), yang akan berdifusi dan mengakibatkan kerusakan DNA. Heliks DNA memiliki diameter sekitar 20 (2 nm). Diperkirakan bahwa radikal bebas yang dihasilkan dalam silinder dengan diameter dua kali lipat dari heliks DNA dapat memengaruhi DNA. Aksi tidak langsung dominan untuk radiasi pengion, seperti sinar-X. S, sugar; P, phosphor; A, adenine; T, thymine; G, guanine; C, cytosine.

Selain itu, radiasi dapat berinteraksi dengan atom atau molekul lain pada sel untuk menghasilkan radikal bebas yang dapat berdifusi dan merusak target kritis. Proses ini disebut aksi tidak langsung (*indirect action*) radiasi. *Indirect action* adalah proses dominan dari radiasi LET rendah seperti photon dan partikel beta (Kelsey, dkk, 2014).

Sekitar 70% komposisi utama dari sistem biologis adalah molekul air, sehingga molekul air sering berpartisipasi dalam interaksi antara foton sinar-X dan molekul biologis. Serangkaian perubahan kimia yang kompleks terjadi pada air setelah terpapar radiasi pengion. Proses ini dapat dinyatakan sebagai:

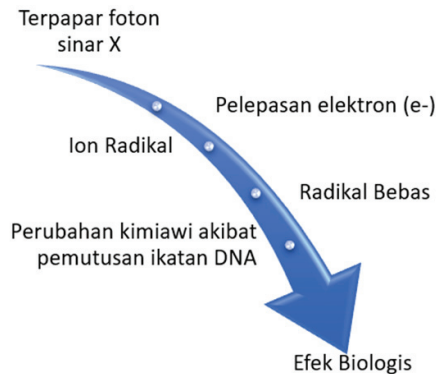


Air yang terpapar radiasi pengion akan menghasilkan H_2O^+ berupa ion radikal, yaitu atom atau molekul yang bermuatan elektrik karena kehilangan elektron dan e^- berupa radikal bebas. Pembentukan radikal bebas dapat terjadi dalam waktu kurang 10^{-10} detik setelah molekul biologis bereaksi dengan foton. Ion radikal bereaksi dengan molekul air lain untuk membentuk radikal hidroksil yang sangat reaktif ($\text{OH}\cdot$).



Radikal hidroksil adalah radikal bebas yang sangat reaktif dan dapat berdifusi untuk mencapai target kritis, diperkirakan sekitar dua pertiga dari kerusakan sinar X pada DNA sel mamalia disebabkan oleh radikal hidroksil. Komponen kerusakan radiasi ini sangat mudah dimodifikasi secara kimiawi, tidak seperti aksi langsung dari radiasi pengion.

Rangkaian peristiwa aksi tidak langsung dari radiasi sinar X dari absorpsi foton hingga perubahan biologis akhir dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Hall dan Giaccia, 2019).



Sumber: Dokumen Penulis, 2022

Gambar 2.3 Efek Tidak Langsung dari Radiasi Sinar-X

Terdapat perbedaan besar dalam skala waktu yang terlibat dalam berbagai peristiwa ini. Proses fisika, ionisasi awal, mungkin hanya membutuhkan 10^{-15} detik. Radikal primer yang dihasilkan oleh ejeksi elektron umumnya memiliki masa hidup 10^{-10} detik. Radikal $\text{OH}^\cdot$ memiliki masa hidup sekitar 10^{-9} detik pada sel, dan radikal DNA yang dibentuk baik oleh ionisasi langsung atau oleh reaksi dengan hidroksil radikal ($\text{OH}^\cdot$) memiliki masa hidup mungkin 10^{-5} detik (dengan adanya udara). Periode antara pemutusan ikatan kimia dan ekspresi efek biologis mungkin dapat terlihat dalam hitungan jam, hari, bulan, tahun, atau generasi, tergantung pada konsekuensi yang terlibat. Jika kematian sel adalah hasilnya, efek biologis mungkin diekspresikan berjam-jam hingga berhari-hari kemudian ketika sel yang rusak mencoba untuk membelah diri. Jika kerusakan radiasi bersifat onkogenik, ekspresinya sebagai kanker yang nyata mungkin tertunda selama 40 tahun. Jika kerusakannya adalah mutasi pada sel germinal yang mengarah pada perubahan hereditas, mungkin tidak diekspresikan selama beberapa generasi.

Efek Biologis Radiasi dapat dipecah menjadi dua kelompok menurut bagaimana responsnya (gejala atau efek) berhubungan dengan dosis (atau jumlah) radiasi yang diterima.

1. Efek Deterministik
2. Efek Stokastik

2.1 EFEK DETERMINISTIK

Efek deterministik disebut juga efek nonstokastik. Efek ini tergantung pada waktu paparan, dosis, jenis radiasi. Efek deterministik radiasi terlihat ketika paparan radiasi suatu organ atau jaringan melebihi ambang batas tertentu, ambang batas dapat bervariasi dari orang ke orang. Pada efek deterministik, tingkat keparahan respons radiasi meningkat seiring dengan meningkatnya dosis paparan radiasi. Paparan radiasi di atas ambang batas tertentu menyebabkan kematian atau degenerasi sejumlah besar sel pada satu waktu kejadian.

Efek deterministik termasuk :

- a) Efek Radiasi Akut
- b) Efek Radiasi Kronis

Efek radiasi akut, umumnya terjadi disebabkan oleh karena dosis radiasi yang besar yang dipaparkan dalam waktu singkat. Efek ini terjadi setelah organisme terpapar atau dalam 24 jam setelah terpapar radiasi. Efek ini mudah untuk disembuhkan dan dikontrol. Mual, muntah, sakit kepala, demam, luka bakar pada kulit dan jaringan termasuk dalam efek radiasi akut.

Efek radiasi kronis terjadi setelah satu bulan atau satu tahun terjadi paparan radiasi dalam jumlah yang banyak. Efek ini adalah efek yang berbahaya dan sulit untuk disembuhkan bahkan dapat menyebabkan kematian. Paparan dosis radiasi kecil yang terjadi secara terus-menerus atau selama bertahun-tahun dapat menyebabkan efek radiasi kronis. Efek ini bukan efek yang dapat diamati secara langsung dan mungkin akan muncul dalam jangka panjang. Katarak, kanker, mutasi genetik, kemandulan sementara dan ketidakmampuan untuk mengandung bayi adalah beberapa contoh efek radiasi kronis (Sofiya, 2018).

2.1.1 Efek Deterministik pada Sel

- a) Struktur Intraseluler

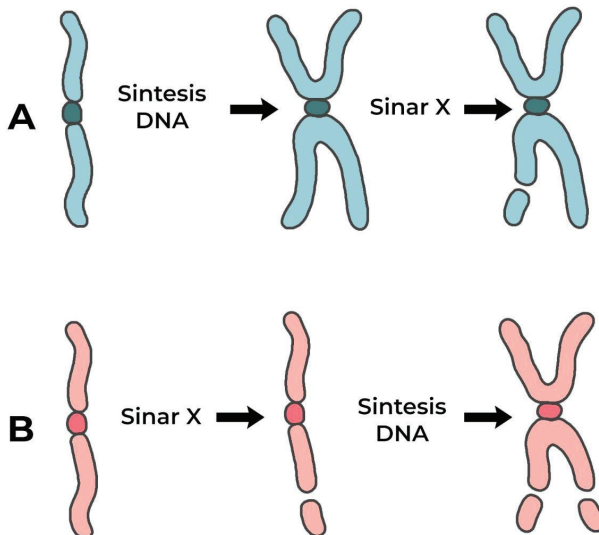
Efek radiasi pada struktur intraseluler adalah hasil perubahan radiasi dalam tingkat makromolekul. Perubahan ini dianggap sebagai perubahan struktural dan fungsional pada organel seluler. Perubahan ini dapat menyebabkan kematian sel.

b) Nukleus

Berbagai data *radiobiologic* menunjukkan bahwa *nukleus* jauh lebih *radiosensitive* (dalam hal mematikan) dari sitoplasma, terutama dalam membagi sel. Bagian sensitif di dalam nukleus adalah DNA dalam kromosom.

c) Penyimpangan Kromosom

Kromosom berfungsi sebagai penanda cedera radiasi. Kromosom dapat dengan mudah divisualisasikan dan diukur, dan tingkat kerusakan kromosom berhubungan dengan sel hidup. Penyimpangan kromosom yang diamati pada sel yang terpapar radiasi pada saat mitosis ketika DNA membentuk kromosom. Jenis kerusakan yang dapat diamati tergantung pada tahap sel dalam siklus sel pada saat iradiasi.



Sumber: Dokumen Penulis, 2022

Gambar 2.4 Penyimpangan Kromosom

Sel terpapar setelah sintesis DNA menghasilkan aberasi lengan tunggal (kromatid). B. Sel terpapar sebelum sintesis DNA menghasilkan penyimpangan lengan ganda (kromosom) karena kerusakan di replikasi pada fase S berikutnya dan terlihat pada fase mitosis berikutnya.

d) Replikasi Sel

Radiasi sangat merusak sistem sel yang membelah dengan cepat, seperti kulit dan mukosa usus, dan jaringan hematopoietik. Populasi sel yang teradiasi tersebut menyebabkan pengurangan ukuran jaringan yang diiradiasi sebagai akibat dari penundaan mitosis (penghambatan perkembangan sel melalui siklus sel) dan reproduksi kematian sel (biasanya selama mitosis). Tiga mekanisme kematian reproduksi adalah kerusakan DNA, *by stander effect*, dan apoptosis (White dan Mallya, 2012).

Tabel 2.1. Radiosensitivitas Relatif dari Berbagai Sel

	Tinggi	Sedang	Rendah
Karakteristik	Pembelahan secara teratur Mitosis yang lama Tidak mengalami atau sedikit diferensiasi antara mitosis	Pembelahan sesekali sebagai tanggapan atas kebutuhan sel	Sangat berdiferensiasi Ketika dewasa tidak mampu membelah
Contoh	<i>Spermatogenic dan erythroblastic stem cells</i> <i>Basal Cell</i> dari membran mukosa rongga mulut	Sel endotel vaskular Fibroblas Acinar dan sel duktus kelenjar ludah Parenkim sel hati, ginjal dan tiroid	Neuron Sel otot lurik Epitel sel skuamosa Eritrosit

Sumber: White dan Pharoah, 2018

2.2 EFEK STOKASTIK

Efek stokastik adalah efek yang terjadi ketika seseorang menerima radiasi dosis tinggi. Efek ini meningkat kemungkinan terjadinya seiring dengan peningkatan dosis. Tidak ada dosis ambang minimal,

bahkan satu foton saja bisa menyebabkan perubahan DNA yang mengarah ke kanker atau efek yang diwariskan. Tingkat keparahan tidak tergantung pada besarnya dosis yang diserap, efek ini terjadi secara kebetulan, efek radiasi bisa mungkin terjadi atau tidak sama sekali (Sofiya, 2018).

Tabel 2.2. Perbandingan Efek Deterministik dan Stokastik akibat paparan radiasi

	Efek Deterministik	Efek Stokastik
Contoh	Mucositis akibat terapi radiasi pada rongga mulut	Kanker akibat paparan radiasi
	Katarak akibat paparan radiasi	Efek heriter
Penyebab	Kematian banyak sel	Kerusakan subletal pada DNA
Dosis ambang batas	Ada: Kematian sel yang cukup diperlukan untuk menyebabkan respon klinis	Tidak ada: Bahkan satu foton dapat menyebabkan perubahan DNA yang mengarah ke kanker atau efek yang diwariskan
Tingkat keparahan efek klinis dan dosis	Keparahan efek klinis adalah sebanding dengan dosis; semakin besar dosis maka lebih besar efeknya	Keparahan efek klinis tidak tergantung pada dosis; respons radiasi tampak semua-atau-tidak sama sekali—setiap individu baik memiliki efek atau tidak
Probabilitas dari kemunculan efek dan dosis	Kemungkinan efek tidak tergantung pada dosis; semua individu menunjukkan efek ketika dosis berada di atas ambang	Frekuensi kemunculan efek sebanding dengan dosis; semakin besar dosisnya, semakin besar resiko terjadi efek akibat paparan radiasi

Sumber: White dan Pharoah, 2018

Penyakit ganas dan efek yang diwariskan adalah efek stokastik yang biasanya mungkin terjadi. Terjadinya efek stokastik adalah probabilistik dalam alam dan sebanding dengan dosis yang diterima. Efek stokastik adalah terdiri dari dua jenis (Sofiya, 2018):

a) Efek stokastik somatik

Efek stokastik somatik, efek radiasi ini terbatas untuk individu yang terpapar dan efek ini berbeda dari efek genetik. Efek ini merugikan bagi individu yang terpapar dan membuat individu tersebut menderita selama sisa hidup mereka.

b) Efek genetik

Efek genetik atau keturunan, akibat dari efek ini radiasi pengion merusak materi genetik dalam sel reproduksi dan mentransmisikannya dari generasi ke generasi. Induksi radiasi pada gen individu dan DNA dapat berkontribusi pada lahirnya keturunan yang cacat.

2.2.1 Efek radiasi pada bidang kedokteran gigi

Prosedur pencitraan medis sangat penting untuk mendiagnosis penyakit, mengidentifikasi cedera, dan mengelola kondisi pasien. Radiografi dental merupakan salah satu sarana yang efektif untuk pencitraan struktur gigi dan rahang atas untuk mengidentifikasi kerusakan gigi, infeksi pada tulang, patologi akar, dan banyak masalah gigi lainnya.

Ada dua jenis utama radiografi dental berdasarkan peralatan yang digunakan: Peralatan intraoral menghasilkan gambar dengan menempatkan film sinar-X di dalam mulut pasien memberikan informasi rinci tentang kesehatan gigi, tulang rahang, akar gigi, dan juga memastikan adanya gigi berlubang. Peralatan ekstraoral menempatkan reseptor gambar sinar-X di luar mulut, memberikan gambar gigi dan informasi tentang rahang dan tengkorak.

Ada beberapa jenis peralatan sinar-X ekstraoral dalam kedokteran gigi, termasuk sefalometrik, panoramik, dan, *Cone Beam Computed Tomography* (CBCT) yang memberikan pencitraan 3 dimensi. Setiap jenis peralatan dapat memberikan berbagai dosis radiasi, tergantung pada teknik pencitraan (Chauhan dan Wilkins, 2019).

Dosis khas untuk setiap teknik (Tabel 2.3) sangat bervariasi baik antara modalitas dan di dalam modalitas, sebagian karena perbedaan dalam bagaimana setiap teknik diberikan. Secara umum,

radiografi intraoral memberikan dosis terendah (Chauhan dan Wilkins, 2019). CBCT memberikan dosis efektif yang lebih tinggi daripada teknik radiografi konvensional, tetapi CBCT memiliki dosis efektif yang lebih rendah daripada yang ditemukan di CT multi-detektor untuk gigi (Stratis, dkk, 2017).

Tabel 2.3 Dosis Khas dari Pemeriksaan Radiografi

Pemeriksaan	Dosis Efektif (μS)	Produk Area Dosis (mGycm²)
Intraoral		
<i>Bitewing</i> (4 gambar)	5	35.9
Ekstraoral		
Panoramik	9-24	76.4
Sefalometri	2-6	32
Cone Beam CT		
<i>Field of View</i> besar	212	1229
<i>Field of View</i> sedang	177	683
<i>Field of View</i> kecil	84	61

Sumber: Chauhan dan Wilkins (2019)

Radiografi dental memaparkan pasien kepada dosis radiasi yang relatif rendah. Namun para penyintas bom atom memberikan bukti peningkatan risiko kanker dari radiasi dosis rendah (Piotrowski, dkk, 2017). Meskipun ditemukan pengurangan 80% dosis radiasi dari radiografi dental menggunakan *rectangular collimators* (RCs) dan RC dengan pelindung tiroid pada anak-anak (Benn, dkk, 2021) serta adanya perkembangan teknik digital, pencitraan sinar-X diagnostik gigi tetap menjadi salah satu jenis prosedur radiologi paling umum yang sering dilakukan di klinik gigi untuk pemeriksaan keadaan rongga mulut. Mengingat kemungkinan frekuensi paparan sinar-X diagnostik gigi dapat berpengaruh pada risiko kesehatan terkait kanker maupun permasalahan lain terkait paparan radiasi sinar-X (Hwang, dkk, 2018).

Banyak penelitian telah membahas mengenai pengaruh eksposur sinar-X gigi pada risiko kanker di daerah kepala dan leher. Beberapa penelitian telah menemukan hubungan antara eksposur sinar-X gigi dan peningkatan risiko kanker otak, tumor kelenjar parotis, kanker payudara, dan kanker tiroid. Secara khusus, kanker tiroid adalah salah satu kanker yang paling umum di seluruh dunia,

dan efek samping dari paparan radiasi gigi cenderung berkontribusi pada kejadian kanker tiroid karena lokasi kelenjar tiroid. Paparan sinar-X gigi secara berulang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan termasuk tumor kepala dan leher dan berbagai masalah sistemik (Hwang, dkk, 2018).

Menurut sebuah penelitian pada praktisi gigi dan kanker tiroid, risiko kanker tiroid adalah 13,1 kali (95% CI 2,1–389) lebih tinggi di antara dokter gigi wanita dan ahli kesehatan gigi. Diyakini bahwa wanita lebih mungkin untuk memiliki kanker tiroid daripada pria karena pengaruh hormon. Pada sebuah laporan kasus, seorang ahli radiologi gigi terpapar sinar-X diagnosis gigi selama 15 tahun dan akhirnya mengembangkan *finger cancer*, yang menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap dosis rendah rontgen diagnostik gigi dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan (Hwang, dkk, 2018). Artikel lain juga melaporkan bahwa terdapat dosis kumulatif yang tinggi untuk dokter gigi yang telah bekerja untuk waktu yang lama (Kim, dkk, 2016). Oleh karena itu, praktisi gigi harus waspada terhadap paparan sinar-X diagnosis gigi dosis rendah, dan risiko akumulatif paparan sinar-X dosis rendah. Radiasi dari rontgen gigi tidak dapat dikesampingkan.

Radiografi dental konvensional tidak pernah menyebabkan efek deterministik radiasi. Eksposur sinar X pada gigi dapat menyebabkan risiko kanker dan leukemia, hal ini disebabkan oleh risiko kanker meningkat secara linear dengan dosis dan berlangsung selama seumur hidup individu terpapar (White dan Mallya, 2021). Risiko dari paparan selama masa kanak-kanak adalah 2-3 kali lebih besar risiko selama masa dewasa. Jumlah kanker yang disebabkan oleh radiasi kemungkinan besar kelipatan dari frekuensi spontan mereka. Tabel 2.4 menunjukkan radiosensitivity dari berbagai jaringan dalam hal kerentanan terhadap kanker akibat radiasi (White dan Pharoah, 2014).

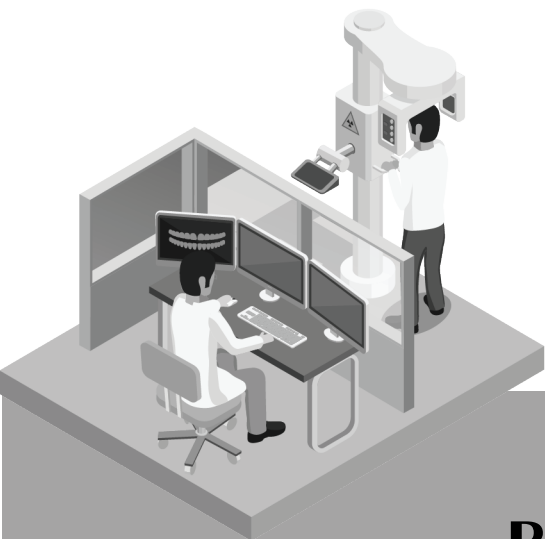
Struktur radiosensitif di kepala dan leher termasuk kelenjar tiroid, kelenjar ludah, sumsum tulang (leukemia) dan otak. Pencitraan gigi telah secara khusus terkait dengan meningioma, tumor kelenjar ludah dan tumor tiroid. Beberapa penelitian mengenai risiko radiasi pada bidang kedokteran gigi juga telah dilakukan sehingga didapatkan perkiraan dari risiko radiasi pada eksposur gigi, didapatkan kemungkinan 1 kematian akibat kanker dari setiap 47.620 pemeriksaan *full-mouth* yang dilakukan dengan Film kecepatan-D dan *collimation* bulat atau dari setiap

17.000 pemeriksaan CBCT dilakukan dengan CB *Mercuriy* (kualitas maksimum FOV wajah). Perkiraan risiko ini memiliki risiko lebih rendah daripada pemeriksaan dengan *multislice* CT (MSCT) karena dosis yang lebih rendah (White dan Mallya, 2012).

Tabel 2.4. Kerentanan Organ yang berbeda terhadap Kanker yang Diinduksi Radiasi

Tinggi	Sedang	Rendah
Usus Besar	Kandung Kemih	Permukaan tulang
Perut	Hati	Otak
Paru-paru	Tiroid	Kelenjar ludah
Sumsum tulang (leukemia)		Kulit
Payudara wanita		

Sumber: White dan Pharoah, 2018



BAB 3

PROTEKSI RADIASI

Proteksi radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh buruk dari paparan radiasi dan melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi.

3.1 PRINSIP PROTEKSI RADIASI

Terdapat tiga prinsip dalam proteksi radiasi yaitu justifikasi, limitasi, dan optimasi.

3.1.1 Justifikasi

Karena adanya efek negatif potensial yang dihasilkan oleh radiasi pengion radiografi sinar-X, yakni efek stokastik dan deterministik, maka diperlukan prinsip justifikasi. Prinsip justifikasi adalah pertimbangan dokter gigi boleh memberikan suatu dosis radiasi ke pasien hanya apabila tidak ada cara lain untuk mendapatkan informasi diagnostik yang penting atau jika paparan ini akan secara positif memengaruhi diagnosis, pengobatan, dan kesehatan pasien. Dengan kata lain, manfaat yang diperoleh ketika melakukan paparan radiasi adalah jauh lebih besar dibandingkan risiko bahaya radiasi yang ditimbulkan.

Kondisi yang perlu dipertimbangkan dalam memberikan paparan radiasi antara lain (Bapeten, 2019):

- a) Indikasi klinis yang menunjukkan pasien harus diberikan paparan medis
- b) Pemberian paparan medis sebelumnya, termasuk yang diterima dari fasilitas lain
- c) Manfaat menggunakan modalitas radiasi pengion lebih besar dan risiko yang ditimbulkan lebih kecil dibandingkan modalitas selain radiasi pengion
- d) Besar dosis radiasi yang akan diberikan serta dampaknya terhadap pasien
- e) Kondisi pasien dengan radiosensitivitas tinggi (bayi, anak-anak, wanita hamil)
- f) Kondisi kesehatan pasien sebelum dan setelah pemberian paparan medis.

Apabila terdapat metode lain untuk memperoleh informasi penting dari pasien tanpa perlu melakukan pemeriksaan

radiografis, maka tindakan pemeriksaan radiografis tersebut tidak perlu dilakukan. Dalam kedokteran gigi anak, prinsip ini juga berarti jika pasien tidak dapat mengikuti prosedur sehingga kualitas dari radiograf cukup buruk, maka tindakan eksposur tidak perlu dilakukan.

Dokter gigi harus memiliki pertimbangan, antara pasien yang boleh dilakukan eksposur, pasien yang tidak perlu dilakukan eksposur, dan pasien yang perlu dilakukan eksposur dengan penanganan khusus contohnya wanita hamil, anak-anak dan pasien berkebutuhan khusus. Pasien dengan kondisi hamil tiga bulan pertama atau trimester satu adalah kondisi yang tidak dianjurkan untuk dilakukan pemeriksaan radiografi, karena pada trimester pertama *embryo-fetus* sedang berkembang dan radiosensitif.

Selain itu dokter gigi harus memiliki pertimbangan modalitas dan teknik pemeriksaan radiografi yang tepat sesuai kebutuhan, contohnya pemilihan teknik *bitewing* pada pasien dengan penyakit periodontal yang mencakup beberapa gigi dan pemilihan radiografi periapikal pada pasien dengan karies yang dalam, dan tidak melakukan pemeriksaan radiografi panoramik atau ekstra oral jika dirasa hanya dengan pemeriksaan intra oral cukup dapat menegakkan diagnosis.

3.1.2 Limitasi

Limitasi adalah pembatasan dosis radiasi. Prinsip ini menyatakan bahwa dokter gigi harus selalu berusaha untuk menjaga dosis radiasi serendah mungkin yang diberikan kepada pasien, dengan hasil radiograf sebaik mungkin.

Penerapan limitasi salah satunya adalah dengan pemberlakuan nilai batas dosis. Nilai batas dosis atau NBD adalah dosis terbesar yang diizinkan oleh Bapeten yang dapat diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat dalam jangka waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetik dan somatik akibat pemanfaatan tenaga nuklir. Pemegang izin wajib memberlakukan limitasi dosis melalui penerapan NBD. NBD tidak boleh dilampaui dalam kondisi operasi normal. Ketentuan mengenai nilai batas dosis diatur dalam peraturan badan proteksi radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir (Bapeten, 2019).

ICRP pada tahun 2007 mengategorikan paparan radiasi pengion menjadi tiga yaitu *occupational exposures* atau paparan

pada pekerja radiasi, *public exposures* atau paparan pada anggota masyarakat, dan *medical exposures* atau paparan medis, di mana aplikasi limitasi dosis atau NBD hanya berlaku untuk *occupational* dan *public exposures* (Bapeten, 2019).

Paparan medis adalah paparan radiasi yang diterima oleh pasien sebagai bagian dari diagnosis atau pengobatan medis, dan orang lain sebagai sukarelawan yang membantu pasien. Pada paparan medis, pasien merupakan bagian dari objek investigasi atau perlakuan tindakan medis menggunakan sumber radiasi pengion. Pasien memperoleh manfaat langsung yang lebih besar dari adanya tindakan medis dengan sumber radiasi pengion sehingga dapat dipahami bahwa pasien tidak membutuhkan pembatasan dosis sebagaimana NBD. Meskipun begitu, dosis yang diterima oleh pasien harus dijustifikasi dan dioptimisasi sehingga mencegah adanya penerimaan paparan radiasi yang tidak diperlukan (*unnecessary exposure*) atau pun paparan radiasi yang tidak dibutuhkan (*unintended exposure*), contoh dari paparan medis adalah radiografi kedokteran gigi dan radioterapi (Bapeten, 2019).

Terdapat beberapa istilah penting dalam dosimetri radiologi yaitu *radiation absorbed dose* atau dosis radiasi yang diserap, *equivalent dose* atau dosis ekuivalen, *effective dose* atau dosis efektif, *dose limits* atau batas dosis, dan *dose rate* atau dosis rata-rata (Whaites dan Drage, 2013).

1) Dosis radiasi yang diserap (*radiation absorbed dose*)

Dosis radiasi yang diserap merupakan pengukuran banyaknya energi yang diserap dari pancaran radiasi per massa unit dari jaringan dan dapat diukur menggunakan dosimeter.

2) Dosis ekuivalen (*equivalent dose*)

Dosis ekuivalen adalah nilai batas maksimal dosis untuk penyinaran organ atau jaringan tertentu, dengan tujuan mencegah terjadinya efek deterministik pada organ atau jaringan tersebut.

3) Dosis Efektif

Dosis Efektif adalah pengukuran jumlah dosis rata-rata dalam organ atau jaringan tubuh dengan memperhitungkan nilai bobot masing-masing. Hal ini diperlukan dikarenakan terdapat beberapa bagian pada tubuh yang lebih sensitif terhadap radiasi dibanding bagian

tubuh lainnya. Untuk memperkirakan secara kuantitatif risiko efek stokastik atau kanker yang ditimbulkan, komisi proteksi radiologi internasional (*The International Commission on Radiological Protection / ICRP*) telah memberikan masing-masing nilai pada tiap jaringan yang disebut faktor pembobotan jaringan atau *Weighting Factor* (WT) berdasarkan radiosensitivitasnya. *Weighting Factor* adalah nilai yang menunjukkan risiko jaringan rusak oleh paparan radiasi, semakin besar risikonya maka semakin tinggi nilai WT pada jaringan tersebut (Whaites dan Drage, 2013).

Tabel 3.1 *Weighting Factor* (WT) Jaringan Tubuh oleh ICRP pada Tahun 1990 dan Pembaharuan pada Tahun 2007

<i>Tissue</i>	1990 _w T	2007 _w T
<i>Bone Marrow</i>	0,12	0,12
<i>Breast</i>	0,05	0,12
<i>Colon</i>	0,12	0,12
<i>Lung</i>	0,12	0,12
<i>Stomach</i>	0,12	0,12
<i>Gonads</i>	0,20	0,08
<i>Bladder</i>	0,05	0,04
<i>Oesophagus</i>	0,05	0,05
<i>Liver</i>	0,05	0,04
<i>Tyroid</i>	0,05	0,04
<i>Bone surface</i>	0,01	0,01
<i>Brain</i>	-	0,01
<i>Kidneys</i>	-	0,01
<i>Salivary glands</i>	-	0,01
<i>Skin</i>	0,01	0,01
<i>Jaringan lain</i>	0,05	0,12

Sumber : Whaites dan Drage, 2013

$$\text{Dosis Efektif (E)} = \sum \text{Dosis Ekuivalen masing-masing jaringan (H}_T\text{)} \times \text{weighting factor jaringan (W}_T\text{)}$$

Dosis efektif dapat dijadikan indikasi dari risiko paparan radiasi apapun baik dari jenis atau energi radiasinya atau bagian tubuh yang diradiasi. Perbandingan dosis efektif dari radiasi pembuatan radiograf *bitewing* atau periapikal adalah sebanyak 0,0003-0,022 mSv, dan radiograf oklusal adalah 0,008 mSv (Whaites dan Drage, 2013).

Tabel 3.2 Tabel Nilai Batas Dosis per tahun

Aplikasi	Pekerja radiasi	Masyarakat umum
Dosis efektif	20 mSv (rata- rata dalam periode 5 tahun); 50 mSv (dalam 1 tahun tertentu)	1 mSv
Lensa mata	20 mSv (rata- rata dalam periode 5 tahun), 50mSv (dalam 1 tahun tertentu)	15 mSv
Kulit	500 mSv	50 mSv
Kaki	500 mSv	

Sumber: Bapeten, 2013

Penetapan dosis efektif 20 mSv per tahun pada pekerja tidak boleh melampaui 50 mSv dalam satu tahun tertentu. Pembatasan lebih lanjut berlaku untuk pajanan kerja bagi wanita hamil. NBD 1 mSv per tahun untuk Masyarakat umum, dalam keadaan khusus, nilai dosis efektif yang lebih tinggi dapat diijinkan dalam satu tahun, asal rata-rata selama 5 tahun tidak melebihi 1 mSv per tahun. Sedangkan dosis efektif pada pekerja magang (pelatihan kerja, pelajar, mahasiswa) usia 16-18 tahun adalah 6 mSv, dosis ekuivalen lensa mata 50 mSv pertahun, dosis ekuivalen kulit 150 mSv pertahun, dan dosis ekuivalen tangan atau kaki adalah 150 mSv pertahun (Bapeten, 2013).

4) Tingkat dosis (*dose rate*)

Tingkat dosis merupakan pengukuran dosis per satuan waktu contohnya dosis per jam, sebagai indikasi tingkat paparan. Pemaparan dosis radiasi pada sistem biologis dengan dosis tingkat tinggi menyebabkan lebih banyak kerusakan daripada pemaparan dosis tingkat rendah. Hal ini dikarenakan organisme tersebut akan memiliki peluang yang lebih besar untuk memperbaiki kerusakan tersebut jika terpapar oleh dosis tingkat rendah

Individu yang bekerja pada medan radiasi yang tinggi, maka pembatasan waktu pajanan harus dilakukan. Cara menghitung dosis total radiasi yang diterima adalah: Dosis total radiasi yang didapat dari laju eksposur dikali Lama eksposur. Sebagai contoh, seorang operator pesawat radiodiagnostik melakukan pekerjaan 5 hari seminggu pada medan radiasi sebesar 0,12 mSv/jam, pajanan berlebih dapat dicegah dengan membatasi waktu kerjanya hanya 40 menit per hari. Dengan pembatasan waktu kerja ini maka dosis yang diterima dalam satu hari menjadi 0,08 mSv, sehingga NBD per tahun sebesar 20 mSv tidak dilampaui (1 tahun kerja diasumsikan sama dengan 50 minggu). Jika volume pekerjaan membutuhkan waktu eksposur yang lebih panjang, maka pekerjaan tersebut dapat dikerjakan oleh dua orang pekerja secara bergiliran, atau operasi kerja harus diubah agar intensitas medan radiasi dapat diturunkan.

Pekerja Radiasi yang menerima dosis melebihi 20 mSv dalam 1 tahun tetapi masih kurang dari 50 mSv, maka pemegang izin harus mengkaji ulang paparan radiasi dan mengambil langkah korektif yang perlu, membatasi dosis efektif pekerja radiasi sehingga yang bersangkutan dalam periode 5 (lima) tahun tidak boleh mendapatkan dosis efektif 100 mSv (seratus milisievert), dan melaporkan kejadian tersebut kepada BAPETEN dengan menyertakan penyebab terjadinya kejadian dan tindakan korektif yang telah dilakukan.

3.1.3 Optimasi

Optimasi adalah suatu upaya yang dilakukan agar paparan radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi, pasien, dan anggota masyarakat diupayakan serendah mungkin yang dapat dicapai, dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi dan dengan pembatasan bahwa dosis yang diterima memenuhi penghambat dosis. Tujuan optimasi adalah untuk melindungi pasien. Dosis harus dioptimisasikan konsisten dengan hasil yang diinginkan dari pemeriksaan atau pengobatan, dan risiko kesalahan dalam pemberian dosis dijaga serendah mungkin (Hiswara, 2015).

Penerapan optimasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan sedemikian rupa sehingga pasien menerima dosis radiasi sesuai dengan dosis yang diperlukan guna mencapai tujuan diagnostik. Tujuan diagnostik yang dimaksud adalah mendapatkan citra radiografi secara optimal sehingga diperoleh informasi diagnostik yang diperlukan oleh dokter dengan selalu

mengupayakan penerimaan dosis radiasi pasien serendah mungkin yang dapat dicapai dengan mengikuti prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA).

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini terdapat berbagai paradigma proteksi radiasi seperti ALADA (*As Low as Diagnostically Acceptable*) dan ALADAIP (*As Low as Diagnostically Acceptable being Indication-oriented and Patient- specific*) yang memiliki tujuan sama, yakni penerapan proteksi dan keselamatan radiasi.

Optimasi dilaksanakan dengan mempertimbangkan pemilihan modalitas yang akan digunakan, mempertimbangkan prosedur yang dipilih, kalibrasi, dosimetri pasien (perhitungan atau pengukuran dosis pasien), tingkat panduan diagnostik atau *diagnostic reference level* (DRL), dan program jaminan mutu untuk paparan medis.

Selain optimasi terhadap pasien, pemegang izin wajib menerapkan optimasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap paparan medis melalui pertimbangan operasional pesawat sinar-X dan pendampingan pasien saat pemeriksaan radiologi. Dalam ini, pendamping pasien harus memenuhi ketentuan berusia di atas delapan belas tahun, tidak dalam kondisi hamil, menggunakan peralatan protektif radiasi sesuai kebutuhan dan diberi informasi mengenai prinsip optimisasi proteksi keselamatan radiasi, posisi dan pendampingan yang tepat. NBD untuk pendamping pasien diupayakan tidak melebihi 5 mSv (lima milisievert) untuk setiap periode penyinaran.

Menurut Perka Bapeten (2020), untuk memastikan NBD bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui, pemegang izin wajib melakukan proteksi radiasi terhadap paparan kerja yang meliputi:

1) Pembagian daerah kerja

Daerah kerja dibagi menjadi dua, yakni daerah pengendalian dan daerah supervisi. Daerah pengendalian yaitu ruangan yang berisi pesawat sinar-X. Dalam ruangan pengendalian, pemegang izin wajib memasang tanda peringatan atau petunjuk pada titik akses dan lokasi lain yang dianggap perlu; menyediakan perlengkapan proteksi radiasi; dan memastikan bahwa pekerja radiasi yang berada di daerah pengendalian memakai perlengkapan proteksi radiasi berupa peralatan pemantauan dosis perorangan, apron, pelindung tiroid, pelindung mata, dan/atau sarung tangan.

Daerah supervisi meliputi ruang panel kendali dan ruangan pembacaan dan pencitraan. Di daerah supervisi, pemegang Izin harus memberi tanda dan batas yang jelas dan memasang tanda pada titik akses keluar masuk (Bapeten, 2020).

2) Penyusunan prosedur keselamatan pengoperasian

Prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X ditujukan untuk menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi dan meminimalkan paparan kerja saat pengoperasian pesawat sinar-X.

3) Penetapan dan peninjauan ulang pembatas dosis

Pemegang Izin harus menetapkan dan meninjau ulang pembatas dosis pada tahap konstruksi untuk fasilitas baru dan operasional untuk fasilitas yang sudah beroperasi. Perhitungan penetapan dan peninjauan pembatas dosis mengacu pada pedoman mengenai pembatas dosis yang ditetapkan oleh kepala Bapeten.

4) Pemantauan paparan radiasi di daerah kerja dan radioaktivitas lingkungan.

Pemantauan paparan radiasi wajib dilakukan pada ruangan pesawat sinar-X secara berkala, termasuk ketika ruangan baru selesai dibangun, ruangan baru direnovasi, pesawat sinar-X baru diperbaiki, atau pada perangkat lunak terkait pesawat sinar-X yang baru dimodifikasi. Pemantauan pajanan kerja meliputi pemantauan terhadap pajanan radiasi eksternal, kontaminasi udara atau kontaminasi permukaan. Maka dari itu diperlukan peralatan alat ukur laju dosis atau dosis, alat ukur kontaminasi udara, atau alat ukur kontaminasi permukaan. Alat ukur yang digunakan untuk paparan radiasi di wilayah kerja adalah surveymeter.

5) Pemantauan dosis perorangan.

Pemantauan dosis pekerja juga merupakan salah satu cara dalam memastikan bahwa nilai batas dosis untuk pekerja radiasi tidak terlampaui. Pemantauan dosis pekerja dilaksanakan secara rutin dan khusus. Pemantauan dosis perorangan dilakukan dengan menggunakan peralatan pemantauan dosis perorangan yang meliputi dosimeter aktif dan dosimeter pasif. Dosimeter aktif berupa dosimeter bacaan langsung untuk personel selain pekerja radiasi. Sedangkan dosimeter pasif merupakan dosimeter untuk seluruh tubuh dan wajib digunakan oleh pekerja radiasi ketika berada dalam medan radiasi di daerah kerja. Dosimeter pasif antara lain

dosimeter film (*film badge*), dosimeter *thermoluminescence* (TLD *badge*), dosimeter *optically stimulated luminescence* (OSL *badge*), dan dosimeter *radio-photoluminescence* (RPL *badge*). Dosimeter pasif wajib dievaluasi oleh laboratorium dosimetri eksternal yang terakreditasi atau yang telah ditunjuk oleh kepala Bapeten. Ketika dosis perorangan melampaui NBD, pemegang izin wajib melakukan rekonstruksi dosis dan penatalaksanaan kesehatan bagi pekerja radiasi.

6) Pertimbangan khusus pekerja radiasi wanita hamil atau diperkirakan hamil.

Pemegang Izin dilarang menempatkan pekerja radiasi wanita hamil atau diperkirakan hamil di daerah pengendalian. Pekerja radiasi wanita hamil atau diperkirakan hamil boleh bekerja di daerah kerja yang tingkat radiasinya kurang dari 1 mSv (satu milisievert) per tahun.

Bentuk penerapan dari ALARA antara lain adalah:

- a) *Shielding*, yaitu penggunaan perisai Pb atau pemakaian apron dan *thyroid collar* sebagai sarana proteksi individu
- b) Mempersingkat waktu paparan
- c) Menjaga jarak antara sumber sinar dengan operator,
- d) Mengatur jarak cone sinar -X ke kulit pasien. Menurut ADA (2006), Penggunaan jarak sumber sinar ke kulit yang lebih panjang (40 cm) daripada jarak pendek (20 cm), akan mengurangi paparan sebesar 10 - 25 %. Jarak antara 20 cm dan 40 cm sesuai, tetapi jarak yang lebih jauh adalah optimal.
- e) Melakukan pemantauan dosis operator atau pekerja radiasi menggunakan *film badge*
- f) Penggunaan *film holder* untuk meminimalisir kegagalan radiograf dan pengulangan eksposur
- g) Menggunakan *image receptor* digital atau menggunakan film dengan kecepatan tertinggi (F-Speed) (ADA, 2012).
- h) Penggunaan kolimator persegi panjang. Kolimator persegi panjang menurunkan dosis radiasi hingga lima kali lipat dibandingkan dengan kolimator melingkar, peralatan radiografi harus memakai kolimator persegi panjang untuk paparan radiografi intraoral (ADA 2012).
- i) *Processing* film yang adekuat. Seluruh film harus diproses mengikuti rekomendasi pabrik. Teknik *processing* yang buruk,

termasuk processing metode visual, paling sering menghasilkan film yang kurang baik, sehingga pembuatan radiograf harus diulang yang mengakibatkan pasien dan personel terpapar radiasi yang tidak perlu (ADA 2012).

3.2 SPESIFIKASI TEKNIK PROTEKSI RADIASI

Spesifikasi teknik proteksi radiasi terbagi menjadi spesifikasi peralatan, spesifikasi ruangan, dan kendali mutu pesawat intraoral..

3.2.1 Spesifikasi Peralatan

Spesifikasi Teknik Peralatan Proteksi Radiasi menurut Bapeten (2020) adalah sebagai berikut:

- a) Apron
Apron memiliki ketebalan yang setara dengan 0,25 mm Pb (timah hitam) untuk Radiologi diagnostik, dan 0,35 mm Pb, atau 0,5 mm Pb untuk radiologi intervensional. Tebal kesetaran Pb harus diberi tanda secara permanen dan jelas pada apron tersebut. Bila pekerja radiasi tidak menggunakan apron, maka pekerja radiasi harus menjaga jarak dengan pasien paling dekat 2 meter.
- b) Pelindung Tiroid
Pelindung tiroid harus terbuat dari bahan dengan ketebalan yang setara dengan 0,35 mm Pb atau 0,5 mm Pb.
- c) Sarung Tangan
Sarung tangan proteksi yang digunakan untuk radiologi intervensional harus memberikan kesetaraan atenuasi paling sedikit 0,25 mm Pb pada 150 kVp. Proteksi ini harus dapat melindungi secara keseluruhan, mencakup jari dan pergelangan tangan.
- d) Pelindung Mata
Pelindung mata harus terbuat dari bahan dengan ketebalan yang setara dengan 0,35 Pb atau 0,5 mm Pb.
- e) Tirai/ *shielding*
Tirai yang digunakan oleh radiografer harus dilapisi dengan bahan yang setara dengan 1 mm Pb, dengan ukuran tinggi 2 m dan lebar 1 m.

Pertimbangan khusus Pesawat sinar-X Intraoral dengan sistem konvensional yang berpengaruh pada dosis radiasi meliputi tegangan tabung (kV), kuat arus (mA), waktu penyinaran, kolimasi, jarak fokus ke kulit, kecepatan film, waktu pengembangan pengolahan film, dan suhu.

3.2.2 Kendali Mutu Pesawat Radiografi Intraoral

Kendali mutu pesawat sinar-X sebagaimana meliputi kendali mutu internal dan kendali mutu eksternal. Kendali mutu internal pesawat sinar-X wajib dilakukan atau disupervisi oleh fisikawan, sedangkan kendali mutu eksternal dilakukan melalui uji kesesuaian. Uji kesesuaian dilaksanakan sesuai ketentuan dalam peraturan badan mengenai uji kesesuaian pesawat sinar-X dalam radiologi diagnostik dan radiologi intervensional (Bapeten, 2020)..



BAB 4

MACAM-MACAM PESAWAT SINAR-X

Radiografi (*Roentgenographs*) dinamai berdasarkan penemu sinar-X yaitu *Wilhelm Conrad Röntgen*, adalah suatu citraan yang diproduksi oleh transmisi sinar-X melalui pasien ke sebuah perangkat yang berfungsi menangkap sinar tersebut kemudian diubah menjadi gambar untuk diagnosis. Tabung sinar-X menghasilkan sinar-X, kemudian sinar-X akan melewati pasien lalu film akan menangkap semua yang tergambar. Teknik ini dikenal sebagai teknik radiografi konvensional (Goaz dan White, 2006). Sekarang ada yang dikenal dengan digital radiografi yang menggantikan film radiograf menjadi gambaran digital dan langsung dapat dilihat pada layar komputer. Di bidang kedokteran gigi radiologi sudah menjadi kebutuhan setiap hari guna membantu menegakkan diagnosis dari sebuah kondisi patologis atau pun anatomis. Sejak pertama kali digunakan pada awal 1896, radiografi gigi menjadi komponen integral dalam penilaian pasien gigi. Pada masa sekarang, ilmu kedokteran gigi telah banyak berkembang selain digunakan untuk membantu menegakkan diagnosis suatu kelainan, membantu juga dalam menentukan jenis perawatan dan menilai hasil suatu perawatan, juga untuk identifikasi yang dapat dipercaya. Sebagian besar radiograf yang diambil adalah intraoral dan ekstraoral.

Klasifikasi radiografi kedokteran gigi dalam bidang kedokteran gigi teknik radiografi intraoral adalah radiografi untuk pemeriksaan gigi dan jaringan sekitarnya dengan radiografi yang filmnya diletakan di dalam mulut pasien. Radiografi intraoral terdiri atas beberapa tipe, yaitu:

- Radiografi Periapikal
- Radiografi *Bitewing*
- Radiografi Oklusal

Radiografi ekstraoral adalah pemeriksaan radiografi yang digunakan untuk melihat area yang luas pada tengkorak kepala, wajah, rahang atas dan rahang bawah. Pada radiografi ekstraoral film yang digunakan diletakan diluar rongga mulut. Radiografi ekstra oral terdiri atas beberapa tipe yaitu:

- Radiografi Panoramik
- Radiografi CBCT
- Radiografi *Lateral Jaw*
- Radiografi Sefalometri
- Radiografi Postero-Anterior

- Radiografi Antero-Posterior
- Radiografi Proyeksi *Water's*

Perangkat penghasil sinar-X umum lainnya yang terdapat dalam kedokteran gigi meliputi:

- 1) Mesin sinar-X *fixed wall-mounted Prostyle Intra oral*
- 2) *Mobile X-Ray hand- held normad*
- 3) *Portable x-ray*
- 4) Mesin sinar-X panoramik yang sering dikombinasikan dengan peralatan sefalometri
- 5) *Unit cone beam computed tomography (CBCT)*

Peranan pemeriksaan radiograf adalah membantu menegakkan suatu diagnosis, karena dengan membuat suatu radiograf, akan diperoleh keterangan yang akan memperkuat diagnosis klinis, sehingga didapatkan kesimpulan yang tepat mengenai suatu kelainan atau penyakit. Selain itu pula, radiograf juga berguna untuk menentukan rencana perawatan, serta mengetahui hasil perawatan yang telah dilakukan. Pemeriksaan radiograf dimanfaatkan oleh hampir semua cabang keilmuan dalam kedokteran gigi meliputi : konservasi gigi, pedodonti, eksodonti, bedah mulut, periodonti, prostodontik, ilmu penyakit dan ortodonti. Setiap bagian memiliki kepentingan tersendiri, sebagian besar adalah untuk menegakkan diagnosis, membantu selama perawatan dan mengevaluasi keberhasilan dari sebuah perawatan.

4.1 PERIAPIKAL SINAR-X

Produsen menyediakan beberapa variasi pesawat sinar-X di pasaran. Terdapat perbedaan tampilan, kompleksitas, dan biaya, tetapi seluruh unit konvensional tetap terdiri dari tiga komponen utama yaitu kepala tabung atau *tube head*, *arm*, kontrol panel, dan sirkuit. Pesawat sinar-X ini dapat dipasang di dinding, lantai atau *unit mobile* (dipasang pada kerangka kokoh di atas roda), dan unit sinar-X genggam atau *handheld* yang sangat berguna untuk radiologi domisili dan radiologi forensik (Whaites dan Drages, 2013).

Unit pesawat sinar-X memiliki beberapa persyaratan di antaranya adalah peralatan tersebut harus aman dari radiasi,

akurat, dan kuat; mampu menghasilkan sinar-X dengan rentang energi yang diinginkan dan dengan mekanisme penghilang panas yang memadai, stabil, seimbang, mudah dilipat dan disimpan. (Whaites dan Drage, 2013).



Sumber : Whaites dan Drages, 2013

Gambar 4.1. Contoh Perangkat Penghasil Sinar-X Modern.

A. *Fixed Wall-Mounted Prostyle Intra®* yang diproduksi oleh Planmeca. B. *Handheld Normad™* (Mobile X-Ray) yang diproduksi oleh Aribex. C. Mobile Kodak 2200.

4.1.1 Pesawat sinar-X yang Dapat Dipasang di Dinding, Langit-Langit, dan Lantai

Mesin rontgen gigi *intraoral* biasanya dipasang di dinding atau biasa *wall mounted* (WM). Mesin ini sudah lama digunakan di setiap rumah sakit gigi dan mulut di Indonesia beberapa dekade ini. Pasien yang akan melakukan foto rontgen ini harus ke tempat mesin tersebut ditempatkan. Untuk saat ini mesin sinar-X yang paling aman perihal perizinan untuk dipasangkan untuk klinik maupun rumah sakit gigi dan mulut. Mesin ini menghasilkan gambar sinar-X gigi untuk menangkap sepenuhnya anatomi gigi yang diperiksa dari mahkota hingga apeks, struktur tulang periodontal serta batas korteks alveolar bagian dalam ke ruang periodontal. Untuk hasil kualitas gambar dari mesin ini lebih baik dibandingkan mesin intraoral lainnya dikarenakan angulasi posisi pada saat pengambilan Teknik foto rontgen oleh operator. Radiasi yang dihasilkan pesawat ini lebih rendah dari pesawat lainya (Nitscke, dkk, 2021).



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.2 *Fixed Wall-Mounted Sinar-X*

4.1.2 Pesawat Sinar-X Mobile

Mesin rontgen ini adalah modifikasi dari mesin *Fixed wall-mounted Prostyle*, yang membedakan pada mesin rontgen mobile menggunakan roda. Kasus pasien tidak bergerak, sakit parah atau cacat, telah terbukti sulit apabila menggunakan mesin *Fixed wall-mounted Prostyle*, untuk mendapatkan gambar rontgen gigi. Mesin ini diperkenalkan sebagai alternatif untuk unit *Fixed wall-mounted Prostyle* konvensional dan biasanya digunakan pada saat sedang melakukan tindakan operasi di ruang operasi (Nitscke, dkk, 2021).



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.3 Pesawat Sinar-X Mobile

4.1.3 Pesawat Sinar-X *Handheld Portabel*

Pesawat sinar-X *Handheld* portabel atau genggam portabel ini sama seperti mesin sinar-X *intraoral* lainnya, hanya lebih mudah digunakan apabila pasien tidak bisa keruangan radiologi. Misalnya, di lokasi terpencil yang sulit fasilitas laboratorium radiologi, rumah sakit, atau di lokasi bencana alam seperti kebutuhan forensik di kamar jenazah, akan sangat menguntungkan untuk memiliki mesin portabel yang dapat dibawa langsung ke pasien (White dan Pharaoh, 2018). Mesin sinar-X *Handheld Portabel* untuk pertama kali digunakan dalam kedokteran gigi forensik dan di bidang kedokteran hewan dan militer. Saat menggunakan mesin portabel tersebut, operator tetap berada di dekat pasien yang menyebabkan operator juga terpapar radiasi. Kesalahan pemeriksaan radiografis menggunakan pesawat sinar-X *Handheld* portabel bagi operator pada saat melakukan teknik tertentu juga sering terjadi. Apabila terjadi kegagalan Teknik, maka eksposur akan dilakukan berulang kali dan menimbulkan tambahan radiasi akibat ketidakakuratan radiograf tersebut (Rainer dan Bram, 2019).



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.4 Mesin Sinar-X Portabel merk Nomad

Beberapa negara bagian di Amerika Serikat memiliki persyaratan tambahan terkait dengan pelatihan dan dosis radiasi (White dan Pharaoh, 2018).

Pertimbangan khusus prosedur menggunakan radiografi portable sinar-X yang dijelaskan mungkin perlu dimodifikasi untuk

pasien yang memiliki kesulitan yang tidak biasa atau kebutuhan khusus. Spesifikasi modifikasi tergantung pada karakteristik fisik dan emosional pasien. Berikut ini beberapa kondisi dan keadaan yg mungkin ditemui pada pemakaian unit sinar-X portabel (White dan Pharaoh, 2018):

- 1) Infeksi pada orofasial dapat menyebabkan edema dan menyebabkan trismus beberapa otot pengunyahan. Akibatnya, radiografi intraoral mungkin menyakitkan bagi pasien dan sulit bagi pasien. Keadaan seperti itu, teknik panoramik atau oklusal mungkin bisa dilakukan satu-satunya kemungkinan pemeriksaan. Pada kasus edema, penggunaan portable sinar-X membutuhkan waktu yang lebih singkat karena tidak perlunya menunggu di laboratorium radiologi.
- 2) Pasien yang telah mengalami trauma, dicurigai juga mengalami fraktur gigi atau wajah. Fraktur pada gigi digambarkan dengan baik pada radiografi periapikal atau oklusal. Diperlukan Teknik pemeriksaan khusus pada fraktur karena kondisi pasien. Fraktur rahang biasanya paling baik dilihat dengan radiografi panoramik, pemeriksaan radiografi ekstraoral lainnya atau pemeriksaan CBCT.
- 3) Pasien dengan gangguan mental dapat menyebabkan beberapa kesulitan dan biasanya akibat kurangnya koordinasi atau ketidakmampuan pasien untuk memahami instruksi operator.
- 4) Beberapa kasus pasien yang dilakukan pemeriksaan di bawah anastesi.
- 5) Pasien dengan disabilitas fisik (misal, kehilangan penglihatan, kehilangan pendengaran, kehilangan penggunaan salah satu atau semua ekstremitas, cacat bawaan seperti langit-langit mulut sumbing) mungkin memerlukan penanganan khusus selama pemeriksaan radiografis. Pasien-pasien ini biasanya kooperatif dan mau membantu. Mereka mungkin terbiasa dengan begitu banyak ketidaknyamanan karena tingkat toleransi mereka tinggi.
- 6) Pasien dengan reflek muntah tinggi. Kadang-kadang pasien yang membutuhkan pemeriksaan radiografis menunjukkan refleks muntah pada saat film akan dimasukkan ke dalam mulut. Pasien-pasien ini biasanya sangat khawatir dan ketakutan, atau sensitifitas tinggi sehingga memicu refleks muntah saat dirangsang. Sensitivitas ini muncul ketika reseptor ditempatkan di rongga mulut. Untuk mengatasi kelainan ini, dokter gigi atau

radiografer harus mencoba untuk meyakinkan pasien dan membuat pasien tetap rileks. Disarankan untuk melakukan pemeriksaan di pagi hari, ketika pasien cukup istirahat, terutama pasien anak-anak. Pada kasus mual ekstrem, anestesi topikal dalam obat kumur atau anestesi dapat diberikan untuk menghasilkan mati rasa sementara pada lidah dan langit-langit untuk mengurangi tersedak. Namun, dalam prosedur ini memberikan hasil yang terbatas. Pendekatan yang paling efektif adalah dengan mengurangi ketakutan, meminimalkan iritasi jaringan, dan mendorong pernapasan cepat melalui hidung. Jika semua tindakan gagal, pemeriksaan ekstraoral adalah satu-satunya cara yang dapat dilakukan.

- 7) Pasien dalam keadaan hamil, meskipun janin sensitif terhadap radiasi pengion, jumlah paparan yang diterima oleh embrio atau janin selama radiografi gigi sangat rendah. Belum ada laporan kerusakan janin dari radiografi gigi. Namun demikian, diperlukan kehati-hatian dan pemberian dosis minimal sesuai dengan kebutuhan gigi ibu.
- 8) Kebutuhan Forensik. Dalam kasus forensik pemeriksaan radiografi portabel biasanya digunakan untuk pemeriksaan postmortem. Dalam beberapa kasus jenazah bencana alam yang sulit dikenali, pemakaian unit sinar-X portabel biasanya digunakan untuk mengetahui umur, jenis kelamin dan etnis. Bisa juga digunakan untuk kebutuhan pengadilan dalam mengungkap sebuah perkara hukum.



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.5 Penggunaan *Portable* Sinar-X untuk Identifikasi Forensik

Syarat Ideal pesawat sinar-X adalah :

- Aman dan akurat
- Mampu menghasilkan sinar-X dalam rentang energi yang diinginkan dan dengan mekanisme adekuat untuk menghilangkan panas
- Berukuran kecil
- Mudah untuk dipindahkan
- Stabil, seimbang, dan cekat (tidak bergerak) Ketika kepala tabung (*tube head*) diposisikan
- Mudah dilipat dan disimpan
- Mudah dioperasikan dan mampu melakukan pencitraan film dan digital
- Kokoh

Terdapat Komponen utama pada pesawat radiografi yang meliputi:

- *Glass Sinar-X tube*, termasuk filamen, blok tembaga, dan target.
- *Step-up transformer* diperlukan untuk menaikkan tegangan listrik dari 240 volt ke tegangan yang lebih tinggi (kV) yang diperlukan untuk seluruh tabung sinar-X
- *Step-down transformer* diperlukan untuk menurunkan tegangan listrik sebesar 24 volt ke arus tegangan yang lebih rendah rendah yang diperlukan untuk memanaskan filamen
- Pelindung timah di sekelilingnya untuk meminimalkan kebocoran
- Minyak di sekitarnya untuk memfasilitasi pembuangan panas
- Filtrasi aluminium untuk menghilangkan bahaya sinar-X
- Kolimator, yaitu piringan logam atau silindrikal dengan desain aperture sentral yang dirancang untuk membentuk dan membatasi ukuran sinar menjadi persegi panjang (ukuran yang sama dengan film intraoral) atau silindris dengan diameter maksimum 6 cm

Komponen Utama Panel Kontrol

Komponen-komponen utama meliputi:

- a) Tombol *on/off* dan lampu peringatan (*warning light*)
- b) *Timer* yang memiliki tiga tipe, yaitu:
- c) Elektronik
- d) Impuls

- e) Jarum jam (tidak akurat dan tidak digunakan lagi)
- f) *Exposure time selector*, berupa:
- g) Numerikal, waktu ditentukan terlebih dahulu
- h) Anatomikal, area mulut yang akan diberi sinar-X ditentukan terlebih dahulu, kemudian waktu eksposur diatur secara otomatis
- i) Lampu peringatan (*warning lights*) dan sinyal yang dapat didengar (*audible signals*) yang menunjukkan kapan sinar-X dihasilkan.

Komponen-komponen lainnya termasuk:

- a) *Film speed selector*
- b) *Patient size selector*
- c) *Mains voltage compensator*
- d) *Kilovoltage selector*
- e) *Milliamperage switch*
- f) *Exposure adjustment for digital imaging*

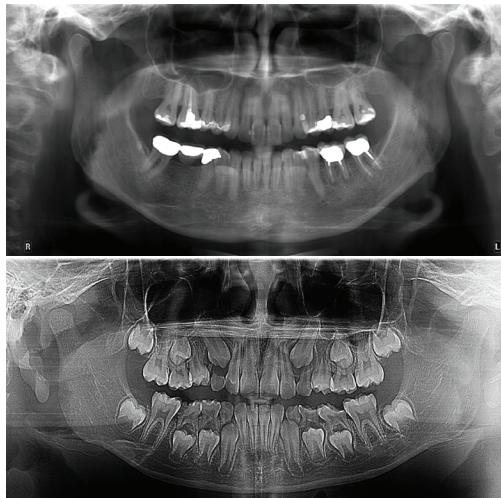


Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.6 Contoh Panel Kontrol pada Perangkat Sinar-X Kedokteran Gigi Modern

4.2 PANORAMIK

Pencitraan panoramik (juga disebut *pantomography*) adalah teknik untuk menghasilkan gambar tomografi tunggal dari struktur wajah yang meliputi rahang atas dan bawah gigi lengkungan dan struktur pendukungnya. Hal ini merupakan variasi lengkung *tomography* konvensional dan juga didasarkan pada prinsip gerakan dari sumber sinar-X dan reseptor gambar pada sekitar titik pusat berotasi sekitar kepala pasien dan menimbulkan kurva fokus ada zona meliputi objek yang di-*setting* sebelumnya. Objek di depan atau di belakang titik fokus disamarkan dan diperjelas. Mesin panoramik juga memfokuskan pada keadaan gigi geligi dan struktur jaringan sekitar. Gambaran panoramik sangat berguna dalam klinis untuk mendiagnosis yang meliputi daerah rahang. Contoh yang biasa terjadi meliputi trauma yang meliputi fraktur rahang, lokasi molar ketiga, luasnya gigi atau penyakit tulang, lesi yang luas dikenal atau menjadi suspek, pertumbuhan dan perkembangan gigi geligi dan rahang (terutama pada geligi campuran), persistensi gigi atau ulkus dekubitus (pada gigi edentulous), kelainan TMJ, dan pertumbuhan abnormal (White dan Pharoah, 2014).



Sumber : Dokumen Penulis, 2022.

Gambar 4.7 **Panoramik Menunjukkan Keseluruhan Jaringan Keras dan Lunak pada Bagian Orofasial Orang Dewasa Termasuk Maksila, Mandibula Gigi Geligi dan Jaringan Periodontal**

Kerugian radiografi panoramik antara lain adalah gambaran tidak memberikan detail anatomi yang cukup baik tidak seperti

gambaran anatomi radiografi periapikal. Juga tidak berguna pada radiografi periapikal yang dapat mendeteksi karies kecil, struktur jaringan periodontal yang baik atau pada kelainan periapikal. Permukaan proksimal premolar biasa terjadi *overlapping*. Kemampuan radiografi panoramik pada pasien dewasa tidak mencakup seperti radiografi kebutuhan film intraoral untuk kebutuhan diagnosis yang biasanya lebih mencakup pada kelainan dental. Ketika seluruh mulut tercakup pada radiografi yang sedang dilakukan perawatan, tidak sedikit atau tidak sama sekali pasien juga memerlukan gambaran panoramik. Masalah lain berhubungan dengan gambaran panoramik meliputi pembesaran yang tidak sama dan distorsi geometrik sepanjang gambar. Biasanya kehadiran struktur *overlapping* seperti spina servikal, bisa menutupi lesi odontogenik, biasanya bagian *incisif*. Secara klinisi pentingnya objek disituasikan pada luar fokus dan menampilkan distorsi atau tidak terlihat secara keseluruhan (White dan Pharoah, 2014).

4.2.1 Mesin Panoramik

Mesin panoramic mampu menghasilkan gambaran sinus dan pandangan *cross-sectional* rahang atas dan rahang bawah. Gambaran ini diperoleh dari Gerakan kepala tabung sinar-X dan gerakan film yang diprogram di dalam mesin. Mesin panoramik juga memiliki dapat membuat sebuah radiografi sefalometri.



Sumber : Dokumen Penulis, 2022.

Gambar 4.8 Pesawat Panoramik

4.3 CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY (CBCT)

Cone-Beam Computed Tomographic Imaging (CBCT) merupakan alat radiografi 3 dimensi beresolusi tinggi untuk memenuhi kebutuhan informasi dalam pemasangan *dental implant*, bedah mulut, endodontik dan ortodontik (Pramanik dan Firman, 2015). *Cone beam computed tomography* (CBCT) adalah kemajuan teknologi paling signifikan dalam radiografi maksilofasial sejak diperkenalkannya radiografi panoramik (Mallya dan Lam, 2019). CBCT telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir khusus untuk digunakan di gigi dan maksilofasial (Whaites dan Drage, 2013). Saat ini ada lebih dari 50 perangkat CBCT maksilofasial yang tersedia secara komersial khusus untuk kedokteran gigi, menawarkan banyak konfigurasi unit yang berbeda. Pengoperasian perangkat CBCT maksilofasial secara teknis sederhana dan mirip dengan radiografi panoramik digital. Namun, unit CBCT menunjukkan perbedaan besar dalam parameter teknis yang tersedia.

Ukuran volume atau bidang pandang (FOV) dari maksilofasial yang dicitrakan bervariasi, sehingga pemindaian CBCT sering digambarkan berdasarkan bidang pandangnya (Whaites dan Drage, 2013)..

- a) Ukuran FOV Kecil, terbatas atau dento-alveolar (sekitar 4 cm³).
- b) Ukuran FOV Sedang atau maksilofasial (sekitar 8 cm³).
- c) Ukuran FOV besar atau kraniofasial termasuk *cranial base ± skull vault*

Cone Beam Computed Tomography (CBCT) awalnya dikembangkan untuk angiografi pada awal 1980-an dan untuk unit gigi dan maksilofasial pertama diperkenalkan secara komersial pada akhir 1990-an dan awal 2000-an. Tidak seperti prosedur radiografi ekstraoral lainnya seperti radiografi panoramik dan sefalometri, CBCT memperoleh data secara volumetrik tiga dimensi (3D) untuk penilaian kompleks gigi dan maksilofasial yang memperkuat diagnosis gigi dengan aplikasi *software* pihak ketiga yang mampu mengimpor data dalam format file *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) (Mallya dan Lam, 2019).



Sumber : Dokumen penulis (2022).

Gambar 4.9 Pesawat *Cone Beam Computed Tomography*

Indikasi Utama

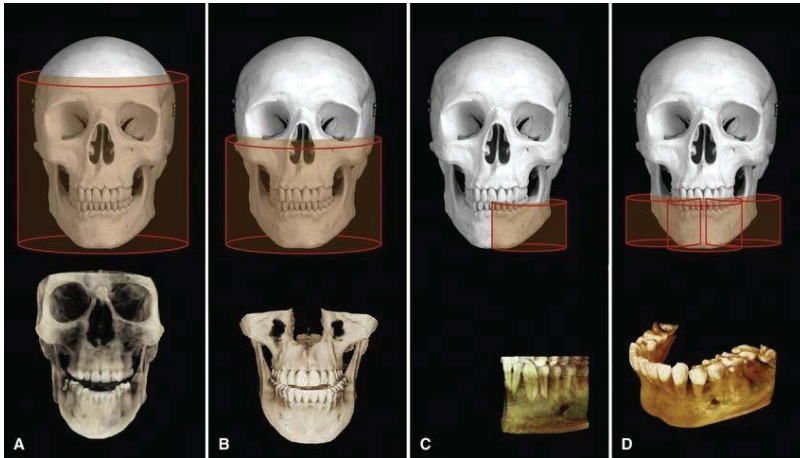
Pada pasien gigi yang sedang tumbuh dapat diindikasikan untuk:

- Lokalisasi gigi yang tidak erupsi (FOV kecil).
- Penilaian resorpsi eksternal sehubungan dengan gigi yang tidak erupsi (FOV kecil).
- Penilaian lokal pada gigi impaksi (FOV kecil).
- Penilaian celah langit-langit (kecil atau sedang FOV).
- Merencanakan manajemen ortodonti/bedah yang kompleks dari kelainan tulang maksilofasial (FOV sedang atau besar).

CBCT umumnya tidak diindikasikan untuk :

- Merencanakan penempatan anchorage sementara dalam ortodontik
- Diagnosis ortodontik rutin.
- Gambaran CBCT biasanya digunakan dalam diagnosis, penilaian, dan analisis anomali ortodonti maksilofasial dan ortopedi.
- Diagnosis karies gigi.
- Pencitraan rutin dukungan periodontal.
- Diagnosis rutin penyakit periapikal.

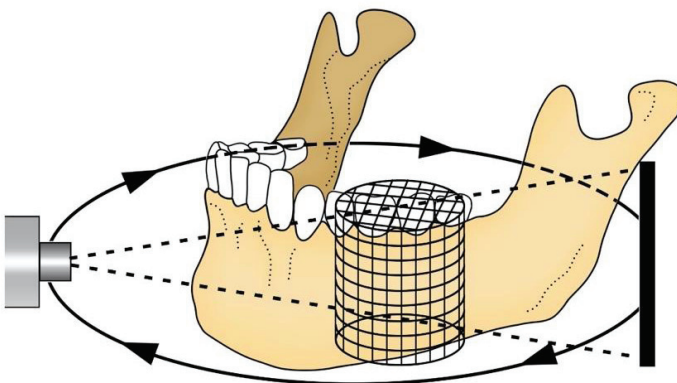
- Penilaian rutin anatomi saluran akar.
- Surgical applications indikasinya; (Whaites eric dkk, 2013).



Sumber : Whaites, dkk, 2013

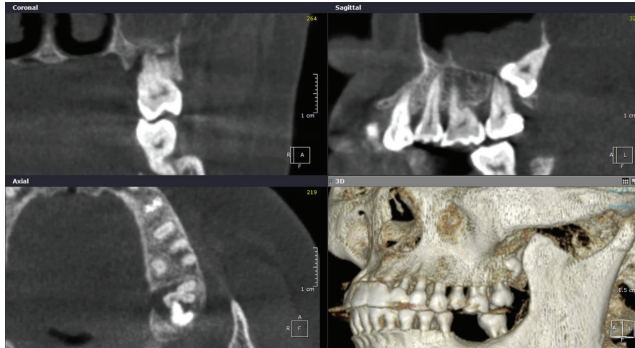
Gambar 4.10 Klasifikasi Unit *Computed Tomography Cone Beam* Menurut *Field of View* (FOV)

(A) Pemindaian FOV besar memberikan gambar seluruh kerangka kraniofasial, memungkinkan analisis sefalometrik. (B) Medium FOV memindai gambar maksila atau mandibula atau keduanya. (C) Pemindaian FOV terfokus atau terbatas memberikan gambar resolusi tinggi dari wilayah terbatas. (D) Pemindaian yang dijahit dari beberapa pemindaian FOV terfokus menyediakan wilayah yang lebih besar yang menarik untuk dicitrakan dari superimposisi beberapa pemindaian.



Sumber: Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.11 Sinar-X pada CBCT Berbentuk Tabung

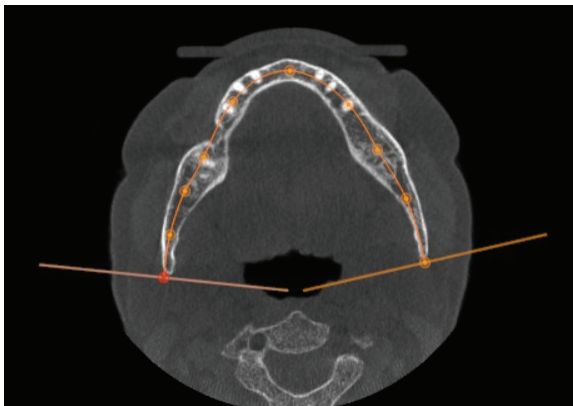


Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 4.12 Radiogarfi CBCT

Diagram yang menunjukkan konsep dasar akuisisi data untuk bidang pandang CBCT kecil berbentuk kerucut mengorbit sekali mengelilingi pasien yang memperoleh data dalam silinder kecil yang berisi dua atau tiga gigi. Gambar B Contoh pemindaian CBCT volume kecil yang menunjukkan gambar aksial, koronal dan sagital dan gambar rekonstruksi 3D setelah rekonstruksi sekunder atau multiplanar.

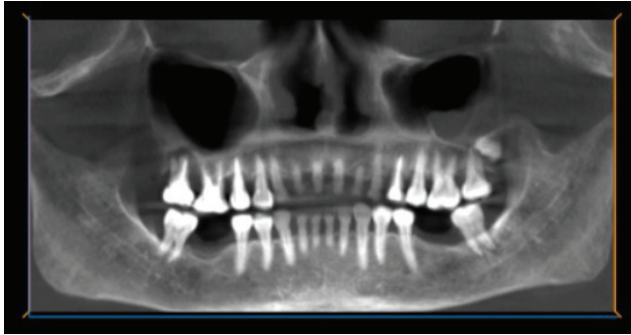
A



B



C



Sumber : Dokumen Penulis, 2022.

Gambar 4.13 Radiogarfi CBCT

Gambar menunjukkan bagaimana membentuk lengkungan mengidentifikasi voxel yang diperlukan komputer untuk menghasilkan gambar panorama. Gambar B Citra panorama berdasarkan bentuk lengkung rahang bawah. Gambar C Citra panorama berdasarkan kurva lengkung rahang atas.



BAB 5

PERIZINAN PESAWAT SINAR-X

5.1 PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN TERKAIT PERIZINAN PESAWAT SINAR-X

Pemanfaatan sinar-X sejak ditemukan pada tahun 1895 oleh Wilhelm Conrad Roentgen hingga sekarang telah berkembang sangat pesat. Sinar-X digunakan secara luas di bidang militer, industri hingga medis. Penggunaan sinar-X yang termasuk ke dalam sumber radiasi pengion di bidang kedokteran gigi memiliki risiko yang cukup berbahaya yaitu timbulnya efek biologi pada tubuh manusia, oleh sebab itu perlu pengaturan tentang pemanfaatannya agar tidak disalahgunakan.

Salah satu fungsi adanya peraturan perundang-undangan terkait pemanfaatan sumber radiasi di Indonesia adalah untuk melindungi seluruh pihak yang terkait dalam hal pemanfaatan sumber radiasi tersebut, dengan memperhatikan aspek keselamatan dan keamanan, mulai dari pekerja radiasi, anggota masyarakat dan lingkungan hidup di sekitar lokasi pemanfaatan. Pertumbuhan teknologi khususnya di era digital sekarang ini dan semakin sadarnya masyarakat akan haknya, menuntut semua pemilik dan pengguna pesawat sinar-X sebagai salah satu sumber radiasi pengion untuk taat kepada aturan yang berlaku.

Hukum di Indonesia yang diatur pada peraturan perundang-undangan bersifat hierarki atau berjenjang (gambar 5.1). Aspek keselamatan dalam pemanfaatan sinar-X sebagai sumber radiasi pengion dilindungi oleh Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Pelaksanaannya lalu diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2020 tentang Pelayanan Radiologi Klinik, dan masih banyak lagi terkait perizinan. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) lalu dibentuk oleh pemerintah sebagai badan yang membuat peraturan, menerbitkan izin, melakukan inspeksi dan mengambil langkah penegakan peraturan untuk menjamin kepatuhan pengguna tenaga nuklir terhadap peraturan dan ketentuan keselamatan.



Sumber : BAPETEN, 2008

Gambar 5.1 Hierarki Peraturan Perundang-Undangan Terkait Sumber Radiasi Pention

Pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pention dan Bahan Nuklir, dijelaskan bahwa terdapat pengelompokan pemanfaatan sumber radiasi pention menjadi 3 kelompok, yaitu kelompok A, B dan C. Masing-masing kelompok pemanfaatan sumber radiasi ini memiliki persyaratan izin yang berbeda-beda. Pengelompokan ini dibuat berdasarkan pada potensi bahaya radiasi, tingkat kerumitan fasilitas, jumlah dan kompetensi personil, potensi dampak kecelakaan radiasi, serta potensi ancaman terhadap sumber radioaktif dan bahan nuklir. Penggunaan sinar-X di bidang kedokteran gigi untuk kepentingan pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensional termasuk ke dalam kelompok pemanfaatan A.

Individu maupun instalasi yang memiliki pesawat sinar-X dan menggunakannya dengan tujuan untuk keperluan diagnostik, wajib memiliki izin dari Kepala BAPETEN. PP No. 29 Tahun 2008 menjadi acuan pengajuan izin dengan detail persyaratannya diatur oleh BAPETEN sendiri. Disebutkan untuk memperoleh izin penggunaan pesawat sinar-X tersebut diperlukan 3 persyaratan, yaitu persyaratan administratif, teknis dan khusus. Persyaratan administratif yang harus disiapkan antara lain adalah:

- a. Identitas pemohon izin berupa fotokopi Kartu Tanda Penduduk (KTP) bagi warga negara Indonesia, atau Kartu Izin Tinggal Sementara (KITAS) apabila pemohon izin adalah warga

negara asing. Pemohon izin adalah direksi atau pengurus yang bertanggung jawab atas suatu badan di dalam atau di luar pengadilan, contohnya Ketua Yayasan, Ketua Badan Direksi, Direktur Utama, dan lain-lain.

- b. Akta pendirian badan hukum atau badan usaha dan Nomor Pokok Wajib Pajak (NPWP) badan hukum atau fasilitas kesehatan yang bersangkutan.
- c. Izin dan/atau persyaratan yang ditetapkan oleh instansi lain yang berwenang sesuai dengan peraturan perundang-undangan. Maksud dari izin di sini adalah izin pelayanan kesehatan yang memuat nama dan alamat fasilitas kesehatan yang diterbitkan oleh instansi yang berwenang.
- d. Lokasi penggunaan pesawat sinar-X.

Semua persyaratan administratif di atas harus dipenuhi agar dapat mengajukan izin penggunaan pesawat sinar-X. Persyaratan berikutnya adalah persyaratan teknis yang meliputi:

- a. Prosedur operasi.
- b. Spesifikasi pesawat sinar-X dan/atau sertifikat uji fungsi tabung pesawat sinar-X yang akan diajukan perizinannya.
- c. Denah ruangan dan sekitarnya.
- d. Program proteksi dan keselamatan radiasi serta perlengkapan proteksi radiasi yang memadai.
- e. Laporan verifikasi keselamatan radiasi.
- f. Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi yang dilakukan oleh dokter yang memiliki kompetensi, yang ditunjuk pemohon izin, dan disetujui oleh instansi yang berwenang di bidang ketenagakerjaan.
- g. Data kualifikasi personil. Untuk pesawat sinar-X dental meliputi Petugas Proteksi Radiasi (PPR) Medik Tingkat II yang memiliki Surat Izin Bekerja yang masih berlaku, Dokter Gigi Spesialis Radiologi Kedokteran Gigi yang memiliki STR dan SIP yang masih berlaku, serta Radiografer yang memiliki STR dan SIP yang masih berlaku. Fisikawan Medis tidak diperlukan untuk pesawat sinar-X dental.
- h. Bukti permohonan pelayanan pemantauan dosis perorangan (untuk izin baru) atau hasil evaluasi pemantauan dosis perorangan (untuk perpanjangan izin lama).

- i. Kalibrasi dosimetri perorangan pembacaan langsung. Khusus untuk pesawat sinar-X dental tidak diwajibkan memiliki dosimetri perorangan pembacaan langsung.

Beberapa poin dalam persyaratan teknis akan dijelaskan lebih rinci pada Bab 8. Untuk pesawat sinar-X dental yang termasuk ke dalam kelompok pemanfaatan A semua persyaratan teknis harus dipenuhi, sedangkan persyaratan khusus tidak disyaratkan untuk dipenuhi bagi pesawat sinar-X diagnostik dan intervensional.

BAPETEN sebagai lembaga yang ditugaskan mengawasi penggunaan sumber radiasi pengion mengeluarkan peraturan yang juga menjadi bagian tidak terpisahkan dalam hal perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion pesawat sinar-X dental. Salah satunya adalah Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat sinar-X Dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial yang menjabarkan persyaratan tentang program proteksi dan keselamatan radiasi sebagai salah satu persyaratan dan berhubungan langsung dengan persyaratan teknis yang diatur pada PP No. 29 Tahun 2008. Perbapeten No. 4 Tahun 2020 ini menjabarkan persyaratan teknik yang meliputi ruangan dan fitur pesawat sinar-X.

Persyaratan ruangan untuk pesawat sinar-X terdapat perubahan karena Perbapeten No. 4 Tahun 2020 adalah pembaruan dari Perka Bapeten No. 8 Tahun 2011. Aturan terbaru menjelaskan beberapa hal tentang ruangan pesawat sinar-X yang harus dipenuhi di pasal 52-57, antara lain adalah:

- a) Desain ruangan yang memenuhi ketentuan pembatas dosis. Untuk memastikan ukuran ruangan yang memadai harus dipastikan bahwa jarak dari titik fokus tabung pesawat sinar-X yang digunakan berjarak minimal 1 meter terhadap semua dinding ruangan. Hal lain yang perlu diperhatikan juga antara lain adalah:
 - Faktor ergonomis.
Faktor ergonomis perlu diperhatikan pada saat mendesain ruangan instalasi pesawat sinar-X agar ada keselarasan antara pekerja radiasi, mesin (pesawat sinar-X) yang digunakan serta lingkungan kerjanya, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental para

pekerja radiasi yang bertugas sehingga produktivitas tetap terjaga melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, mengupayakan promosi dan kepuasan kerja.

- Letak meja penyinaran dan pergerakan pasien.
Alur pergerakan pasien dan operator dapat mengalir dengan baik tanpa mengganggu satu sama lain. Oleh karena itu, ukuran ruangan harus memadai, menyesuaikan ukuran pesawat sinar-X yang digunakan di ruangan tersebut dan tata letak peralatan seperti pesawat sinar-X, meja, kursi, tabir penahan radiasi (kalau ada), dan lain-lain, harus diatur sedemikian rupa agar tidak mengganggu alur pemeriksaan.
- Jenis pemeriksaan dan pesawat sinar-X yang digunakan.
Desain ruangan instalasi tentunya harus mempertimbangkan jenis pesawat sinar-X yang digunakan serta jenis pemeriksaan yang dilakukan. Pesawat sinar-X intraoral dan ekstraoral tentu berbeda satu sama lain spesifikasi mesinnya sehingga perlu desain ruangan yang berbeda pula, mengingat ukurannya pun jauh berbeda.
- Beban kerja maksimum.
Desain ruangan juga menentukan apakah beban kerja yang diterima oleh seorang pekerja radiasi berlebihan atau tidak. Di bidang radiologi, beban yang diterima salah satunya juga berupa dosis radiasi yang tidak seharusnya diterima oleh operator ketika melakukan paparan. Oleh karena itu, desain ruangan sebaiknya disediakan ruangan khusus di luar ruang pemeriksaan untuk operator saat melakukan exposure (namun masih dapat melihat keadaan di dalam) atau minimal disediakan tabir penahan radiasi apabila exposure dilakukan di ruangan yang sama.
- Faktor orientasi berkas.
Posisi dan desain ruangan juga perlu dipertimbangkan apabila pancaran sinar-X saat pemeriksaan akan mengarah ke mana. Sebaiknya dihindari posisi pesawat di mana orientasi berkas pancaran sinar-X tersebut mengarah ke dinding atau pintu atau jendela yang sering dilewati pada sisi seberangnya.

- Faktor okupansi.
Hindari sebisa mungkin mendesain ruangan instalasi radiologi yang dekat dengan ruangan lainnya yang banyak orang berdiam diri seperti ruang tunggu ataupun ruang rawat inap.
 - Ketentuan penahan radiasi.
Dalam mendesain suatu ruangan instalasi radiologi tidak luput dari ketentuan penggunaan penahan radiasi untuk melindungi lingkungan sekitar dari bahaya radiasi. Ketentuan ini akan dibahas pada poin b.
 - Modifikasi fasilitas dan pesawat sinar-X di masa mendatang.
Idealnya ketika mendesain suatu ruangan instalasi radiologi direncanakan dari awal sebelum bangunan tersebut dibangun agar desainnya optimal dari segala sisi. Namun tidak menutup kemungkinan ada rencana modifikasi ataupun penambahan pesawat sinar-X di masa yang akan datang. Oleh karenanya desain yang dibuat harus mempertimbangkan rencana jangka panjang tersebut tanpa mengorbankan kebutuhan di masa sekarang. Terutama dari luas ruangan dan penahan radiasi yang digunakan pada dinding, pintu dan jendela.
- b) Penahan radiasi terpasang pada dinding, pintu, dan jendela.
Penahan radiasi yang digunakan harus mengikuti ketentuan sebagai berikut:
- Mengikuti ketentuan kalkulasi penahan radiasi dengan mempertimbangkan antara lain faktor beban kerja maksimum, okupansi dan orientasi berkas.
 - Memperhatikan pemasangan saluran dan sambungan pada penahan radiasi agar tidak terjadi kebocoran radiasi. Sebagai contoh aplikasinya apabila menggunakan lembaran timbal, tiap tepi lembaran timbal diposisikan bertumpuk untuk mencegah kebocoran pada sambungan.
 - Menggunakan material yang efektif. Pada peraturan BAPETEN terbaru tidak disebut secara spesifik rekomendasi bahan penahan radiasinya. Pada peraturan BAPETEN sebelumnya disebutkan bahan yang cukup efektif sebagai penahan radiasi antara lain adalah timbal dengan ketebalan minimal tebal 2 mm, bata merah dengan ketebalan 25 cm dan beton dengan kerapatan 2,2 gr/cm³

dengan ketebalan 20 cm.

- Penahan radiasi harus terpasang di dinding minimal dengan ketinggian 2 meter dari lantai. Khusus ruangan pesawat sinar-X CT-Scan dan radiologi intervensional, penahan radiasi harus penuh pada seluruh dinding.
- c) Ukuran ruangan cukup memadai untuk tercapai optimisasi proteksi dan Keselamatan Radiasi.
- d) Desain ruangan memungkinkan personel dapat dengan jelas mengobservasi atau berkomunikasi dengan pasien dari ruang panel kendali.
- e) Dalam satu ruangan pesawat sinar-X tidak boleh terdapat 2 (dua) atau lebih pesawat sinar-X yang dioperasikan secara bersamaan.
- f) Pada pintu ruangan pesawat sinar-X terpasang dengan jelas tanda radiasi, peringatan bahaya radiasi, dan peringatan terhadap wanita hamil. Peringatan ini harus tertempel secara permanen, memiliki 2 warna yang kontras umumnya hitam dan kuning (gambar 5.2), serta dapat terlihat dengan jelas pada jarak 1 meter. Contoh tulisan peringatan yang direkomendasikan adalah “AWAS sinar-X”, “PERHATIAN: AWAS BAHAYA sinar-X”, “WANITA HAMIL ATAU DIPERKIRAKAN HAMIL HARUS MEMBERITAHU DOKTER ATAU RADIOGRAFER” atau kalimat lain yang memiliki makna yang sama.



Sumber : Dokumen Penulis, 2022

Gambar 5.2 Contoh Gambar Tanda Peringatan Bahaya Radiasi

- g) Pada pintu ruangan pesawat sinar-X terpasang lampu peringatan yang harus menyala ketika penyinaran berlangsung.
- h) Pintu pesawat sinar-X harus selalu tertutup rapat pada saat penyinaran berlangsung.
- i) Terdapat sistem pendingin ruangan yang memadai.

Fitur pesawat sinar-X yang sesuai aturan juga menjadi salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh izin penggunaan. Fitur pesawat sinar-X dibagi menjadi fitur umum dan khusus. Untuk pesawat sinar-X dental, yang harus dipenuhi hanyalah fitur umum, yaitu:

- a) Perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi.
- b) Semua parameter operasi dapat ditampilkan dengan jelas dan akurat.
- c) Terdapat mekanisme kendali berkas radiasi, termasuk tanda yang menunjukkan secara jelas secara visual atau audio ketika penyinaran sedang berlangsung.
- d) Terdapat sistem untuk meminimalkan kesalahan manusia.
- e) Terdapat kolimator untuk membatasi berkas radiasi.
- f) Terdapat filter bawaan dan filter tambahan untuk mengurangi energi rendah radiasi.
- g) Kebocoran radiasi pesawat sinar-X tidak melampaui 1 mGy (satu miligray) dalam 1 (satu) jam pada jarak 1 (satu) meter dari fokus.
- h) Khusus pesawat sinar-X digital, tampilan dosis real-time dan laporan dosis akhir yang ada dalam informasi di *DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)*, termasuk transfer data dosis untuk tujuan tingkat panduan diagnostik dan perhitungan dosis pasien.
- i) Khusus pesawat sinar-X digital, sambungan ke *RIS (Radiology Information System)/PACS (Picture Archive and Communication System)*.

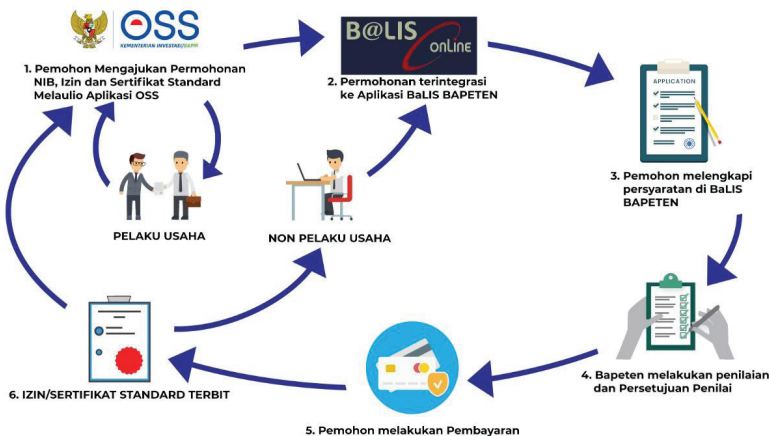
5.2 TATA CARA PERMOHONAN IZIN PESAWAT SINAR-X

Untuk memperoleh izin pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir, pemohon izin harus mengajukan permohonan kepada

Kepala BAPETEN dengan melampirkan dokumen persyaratan administratif dan teknis. BAPETEN baru memperbaharui sistem pengajuan izin yang sebelumnya langsung melalui *Balis Online*, mulai akhir tahun 2021 harus melalui *Online Single Submission* sesuai dengan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 Tentang Cipta Kerja. Bagan alur sederhana yang menggambarkan tata cara permohonan izin baru maupun perpanjangan dapat dilihat pada gambar 5.3.

Izin yang telah diterbitkan berlaku sejak tanggal diterbitkannya izin sampai dengan jangka waktu tertentu seperti tercantum dalam Lampiran I PP No. 29 Tahun 2008. Izin tersebut dapat diperpanjang sesuai dengan jangka waktu berlakunya izin dengan mengajukan permohonan perpanjangan izin secara tertulis kepada Kepala BAPETEN paling lama 30 hari kerja sebelum jangka waktu izin berakhir. Pemohon izin wajib mengajukan perubahan izin apabila perubahan mengenai::

- a. Identitas pemegang izin.
- b. Personil yang bekerja di fasilitas.
- c. Perpindahan lokasi pesawat sinar-X.
- d. Perlengkapan proteksi radiasi.



Sumber : BAPETEN, 2022

Gambar 5.3 Alur Permohonan Izin Pesawat Sinar-X Baru dan Perpanjangan

5.3 PERIZINAN TERKAIT PESAWAT SINAR-X *HANDHELD* PORTABLE

Penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel di bidang kedokteran gigi semakin marak di Indonesia. Perbapeten No. 8 Tahun 2011 menyebutkan pada pasal 49 bahwa pesawat sinar-X *handheld* portabel tidak boleh digunakan untuk diagnostik, hanya diperbolehkan untuk kepentingan *disaster victim identification* di bidang forensik kedokteran gigi. Meskipun sudah jelas aturannya, pada kenyataannya pesawat sinar-X *handheld* portabel dijual bebas dan digunakan oleh dokter gigi yang kurang paham akan regulasi dan cara penggunaan pesawat tersebut dengan benar. Perubahan pada Perbapeten No. 4 tahun 2020, pesawat sinar-X *handheld* portabel tidak lagi dikhususkan untuk keperluan forensik, namun pada Lampiran III disebutkan beberapa ketentuan sinar-X *handheld* portabel agar tetap sesuai dengan prosedur keselamatan radiasi, antara lain adalah:

- a) Dilengkapi dengan tanda perimeter dan perisai radiasi mobile untuk melindungi pekerja radiasi dan/atau pasien lain di sekitar pesawat sinar-X.
- b) Berkas utama sinar-X tidak mengarah ke pekerja radiasi dan/atau pasien lain di sekitar pesawat sinar-X.
- c) Pekerja radiasi harus menggunakan apron saat mengoperasikan pesawat sinar-X.
- d) Pengujian pesawat sinar-X portabel dilakukan di ruangan radiologi terpasang tetap atau di ruangan lain dengan menggunakan perisai radiasi mobile.
- e) Pesawat sinar-X portabel hanya boleh digunakan untuk pemeriksaan pasien yang tidak memungkinkan dibawa ke ruangan radiologi.

Perlu diperhatikan bahwa pada Perbapeten terbaru tidak boleh ditafsirkan bahwa pesawat sinar-X *handheld* portabel dapat digunakan untuk keperluan diagnostik di klinik, karena disebutkan pesawat sinar-X *handheld* portabel hanya untuk pasien yang tidak dapat dibawa ke ruangan radiologi. Hal ini dapat mengacu kepada kondisi di Rumah Sakit di mana ada kemungkinan terdapat pasien di ruang operasi yang memerlukan pemeriksaan radiologi dental namun tidak dapat dibawa ke ruang radiologi karena sudah terpasang peralatan lain di tubuhnya, jadi pesawat sinar-X *handheld* portabel digunakan di dalam ruang operasi tersebut dengan tetap memperhatikan prosedur keselamatan radiasi.

Kontroversi penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel di Indonesia tidak luput dari masalah perizinan oleh BAPETEN. Informasi terakhir dari BAPETEN berdasarkan hasil wawancara langsung dengan bagian perizinan, kenyataannya pesawat sinar-X *handheld* portabel untuk kedokteran gigi sampai saat buku ini ditulis belum pernah dikeluarkan izinnya. Bisa jadi karena pada peraturan perundang-undangan lain terkait perizinan ada hal yang kontradiktif dengan pesawat jenis ini. Misalnya untuk persyaratan ruangan yang mengharuskan titik fokus pesawat berjarak minimal 1 meter, namun dengan pesawat sinar-X *handheld* portabel ukuran ini tidak dapat dijadikan patokan karena pesawat jenis ini dapat dengan mudah dipindahkan, bahkan lebih mudah dibandingkan pesawat jenis *mobile*. Tujuan penggunaan ruangan juga dipertimbangkan dalam pengurusan izin, karena tidak direkomendasikan ruangan pemeriksaan radiologi menjadi satu dengan ruang perawatan gigi.

Dokter gigi di Indonesia perlu menyadari saat ini pesawat sinar-X *handheld* portabel sebaiknya tidak digunakan sebagai alat pemeriksaan diagnostik, karena perizinan pemanfaatannya belum diatur secara jelas dan risiko bahaya radiasi terhadap lingkungan apabila fasilitas tempat pesawat tersebut digunakan juga kurang sesuai dengan standar keselamatan radiasi. BAPETEN bekerjasama dengan organisasi atau instansi pemerintah lain perlu mengawasi juga jual beli pesawat sinar-X *handheld* portabel agar tidak disalahgunakan sehingga menyebabkan meningkatnya risiko bahaya radiasi terhadap masyarakat.



BAB 6

PENGUNAAN PESAWAT SINAR-X *HANDHELD* *PORTABEL*

6.1 SEJARAH PERKEMBANGAN DAN INDIKASI PENGGUNAAN PESAWAT *HANDHELD PORTABEL DENTAL X-RAY*

Tidak banyak literatur yang secara pasti menyebutkan tentang sejarah awal hingga perkembangan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel sejak pertama kali ditemukan pada tahun 1921 oleh ilmuwan asal Kanada bernama Frederick Classens. Namun, beberapa sumber menyebutkan bahwa penggunaan alat ini secara luas tercatat pada awal tahun 90-an dan pada mulanya dikembangkan untuk digunakan di bidang militer dan kedokteran hewan lalu kemudian diarahkan untuk kebutuhan forensik pada kejadian bencana massal atau bagi orang-orang tertentu yang memang sama sekali tidak dapat mengakses perawatan di klinik atau rumah sakit secara langsung contohnya mereka yang dalam kondisi cacat berat dengan mobilitas rendah atau *home-bound patient* yaitu pasien yang ketika harus bergerak dari tempat tinggalnya maka ia membutuhkan upaya bantuan yang cukup berat dari orang lain (Swati, dkk, 2013; Cho dan Han, 2012). Penemuan Classens ini hanya berselang kurang lebih 26 tahun dari sejak pertama kali sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Coenrad Roentgen pada Desember 1895 dan penggunaan sinar-X pertama kali untuk pengambilan radiografi gigi oleh Otto Walkhoff dibantu oleh Fritz Giesel pada Januari 1896. Walaupun tidak ada informasi lebih lanjut mengenai bentuk dan spesifikasi alat yang ditemukan oleh Classens, sejak penemuannya itu dikabarkan banyak manufaktur komersial yang mengembangkan dan meluncurkan berbagai macam desain pesawat pesawat sinar-X *handheld* portabel hingga saat ini. Beberapa di antaranya telah menerima izin dari *U.S. Food and Drug Administration* (FDA), (Swati, dkk, 2013).

Pesawat sinar-X *handheld* portabel merupakan pesawat sinar-X yang ditujukan untuk peruntukan radiografi intraoral di bidang kedokteran gigi. Saat ini, bentuk dan desain pesawat sinar-X *handheld* portabel semakin praktis mulai dari menyerupai kamera fotografi hingga desain seperti *shotgun* (Berkhout, dkk, 2015). Dengan bentuk yang praktis, ukuran lebih kecil, ergonomis, ringan dan sangat mudah dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya, serta promosi *marketing* yang gencar dari berbagai manufaktur dan penyalur pesawat sinar-X ini, maka terjadi peningkatan penggunaan jenis pesawat ini di klinik dokter gigi. Menurut Cho dkk, (2007), penggunaan pesawat portabel *dental X-ray* dilaporkan semakin meningkat dan memperlebar cakupan praktik klinik yang lebih

luas termasuk implan, perawatan endodontik, dan pemeriksaan gigi secara umum (*oral screening*) (Lee, dkk, 2013). Jenis pesawat ini menggunakan baterai untuk pengoperasiannya dengan keluaran radiasi pengion yang relatif lebih rendah (*low dose radiation*). Dari sisi bentuk, pengoperasian, dan keluaran radiasi pengion yang dihasilkan memang terlihat sangat memungkinkan dan menjanjikan dalam penggunaan pesawat ini untuk menggantikan pesawat *wall-mounted dental X-ray* (Berkhout, dkk, 2015). Bahkan beberapa wilayah di dunia telah memperkenalkan sistem pesawat sinar-X *handheld* portabel sebagai pengganti *fixed wall-mounted system* untuk digunakan dalam radiografi intraoral di klinik dokter gigi seperti yang direkomendasikan oleh *Public Health England* meskipun dengan beberapa penyesuaian pada aspek prosedural radiografi seperti penentuan posisi pasien dan tindakan pencegahan tambahan untuk operator (Gulson dan Holroyd, 2016).

Walaupun disebutkan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel telah diizinkan oleh beberapa lembaga tertentu, kontroversi penggunaan pesawat ini dalam aktivitas klinik rutin sehari-hari masih diperdebatkan. Banyak kekurangan pemahaman yang lengkap mengenai fungsi dan protokol keamanan penggunaan pesawat sinar-X ini terutama dalam hal penerapan prinsip proteksi radiasi baik untuk operator maupun pasien terhadap paparan radiasi pengion. Hal ini menjadi perhatian penting karena dalam pengoperasian pesawat sinar-X ini, operator harus memegang atau menggenggam perangkat selama paparan medis diberikan kepada pasien sehingga operator tidak dapat mengambil jarak yang cukup dari area sumber sinar-X sehingga isu mengenai radiasi hambur (*scattered radiation*) sulit dihindari dan membutuhkan kesadaran proteksi radiasi. Beberapa pesawat sinar-X *handheld* portabel keluaran terbaru memang telah menerapkan teknologi dengan dosis keluaran radiasi yang lebih rendah dengan mengatur kuat arus, gelombang, filtrasi, dan panjang *x-ray cone* (Berkhout dkk, 2015), namun hal itu tidak berarti bahwa penggunaan pesawat *x-ray* ini dapat dilakukan dengan bebas. Hal ini telah diungkapkan oleh Kim (2016) melalui beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi terjadinya *leakage* dan *scattered radiation* kepada operator dari penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel lebih besar dibandingkan pesawat *wall-mounted*.

Perkembangan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel dalam dekade terakhir ini memang dilaporkan meningkat

cukup pesat dengan berbagai macam bentuk dan desain yang menarik. Namun yang banyak diabaikan adalah bagaimana penerapan prinsip proteksi radiasi yang menjamin keselamatan pasien, operator, dan masyarakat. Penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel jelas sama dengan modalitas radiografi kedokteran gigi lainnya yaitu memancarkan radiasi pengion sehingga harus disertifikasi dan dioperasikan di bawah kontrol yang diatur oleh personel berlisensi dan dalam situasi tertentu. Meskipun terdapat klaim dengan beberapa bukti ilmiah yang dapat dipercaya mengenai dosis rendah pada modalitas Portabel, namun prinsip kedua dalam proteksi radiasi yaitu konsep ALARA di mana pengguna harus bertanggung jawab dalam menjaga dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya atau harus selalu dibatasi (Berkhout, dkk, 2015)

Hingga saat ini terdapat dua pendekatan dalam penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel pada aktivitas rutin di klinik gigi. Satu pihak tidak merekomendasikan penggunaannya sama sekali dan pihak lainnya memberikan rekomendasi dengan serangkaian persyaratan yang harus dipenuhi oleh pengguna. Namun, pada intinya keduanya berkonsentrasi pada keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel tersebut. Oleh karena itu, beberapa hal yang dapat dianggap sebagai indikasi atau syarat penggunaan modalitas ini dalam kasus-kasus tertentu dimana penggunaan modalitas *fixed wall-mounted x-ray* tidak dapat digunakan seperti dalam kondisi di bawah ini:

- a) Ruang operasi (*operatiekamer*) yang tidak memiliki pesawat radiografi *fixed wall-mounted* dengan kondisi pasien di bawah anestesi umum atau sedasi. Namun, yang menjadi catatan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel pada kasus ini merupakan alternatif kedua setelah modalitas *semi-mobile*.
- b) Ruang gawat darurat, kamar bedah, kamar pasien atau fasilitas ruang rumah sakit lainnya dengan pasien yang tidak dapat bergerak (*immobile*). Pilihan pertama pada kasus ini juga adalah modalitas *semi-mobile* dibandingkan pesawat sinar-X *handheld* portabel
- c) *Nursing home*/panti jompo atau fasilitas tempat perawatan pasien dengan disabilitas yang mobilitasnya dapat berpengaruh langsung terhadap kesehatannya secara umum dan bagi mereka yang tidak dapat sama sekali mengunjungi fasilitas kesehatan. Pada kasus seperti ini, perawatan follow up sangat

dipertimbangkan untuk dilakukan sebelum memberikan justifikasi prosedur pemeriksaan radiografi. Jika perawatan *follow up* terkendala dilakukan pada tempat tersebut, maka pasien sebaiknya dirujuk ke fasilitas kesehatan lebih lanjut dan pemeriksaan radiografi jika memang indikasi dapat dilakukan pada fasilitas kesehatan lanjut tersebut dibandingkan pilihan untuk langsung menggunakan pesawat sinar-X *handheld* portabel.

- d) Fasilitas kesehatan pada tempat penahanan orang-orang tertentu yang secara fisik terkurung dan tidak dapat dengan mudah dipindahkan atau ditransfer.

6.2 DASAR HUKUM PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X HANDHELD PORTABLE

Penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel dalam suatu wilayah hukum tertentu seperti pada sebuah negara atau area regional tertentu harus memiliki dasar hukum yang jelas. Dasar hukum ini menjadi payung legalitas pengoperasian pesawat sinar-X karena kaitannya dengan adanya potensi efek merugikan dari radiasi pengion dan prinsip proteksinya. Di Indonesia, terdapat lembaga yang disebut BAPETEN atau Badan Pengawas Tenaga Nuklir dengan kewenangan dan tanggung jawab dalam bidang pengawasan untuk meminimalkan risiko yang berkaitan dengan penggunaan tenaga nuklir di Indonesia termasuk penggunaan pesawat radiografi yang memicu terjadinya proses ionisasi radiasi seperti penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel (BAPETEN, 2022).

Berdasarkan Undang-Undang No.10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran maka negara harus hadir dalam mengatur dan mengawasi hal yang berkaitan dengan pemanfaatan, pengembangan, dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir serta pengawasan seluruh kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir. Pengawasan tenaga nuklir di Indonesia tidak bisa dihindari dan sangat dibutuhkan. Seiring dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi nuklir dan penggunaannya di masyarakat yang makin meluas, pengawasan ditujukan untuk memastikan dan menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan. Atas dasar hal tersebut, BAPETEN sebagai lembaga negara diberikan mandat

melalui UU Ketenaganukliran tahun 1998 untuk meregulasikan peraturan, menerbitkan izin, mengadakan inspeksi dan mengambil langkah penegakan peraturan untuk menjamin kepatuhan pengguna tenaga nuklir terhadap peraturan dan keselamatan penggunaannya termasuk tenaga yang berasal dari sumber radiasi pengion (BAPETEN, 2020).

Hal yang perlu diketahui adalah bahwa radiasi pengion seperti yang dihasilkan oleh berbagai modalitas radiografi untuk kebutuhan medis di bidang kedokteran dan kedokteran gigi merupakan bagian dari tenaga nuklir. Definisi tenaga nuklir sendiri adalah tenaga dalam bentuk apapun yang dibebaskan dalam proses transformasi inti. Adapun radiasi pengion merupakan serangkaian gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan yang karena energi yang dimilikinya mampu mengionisasi media atau berbagai objek yang dilaluinya (UU Ketenaganukliran, 1997). Perlu diketahui pula bahwa segala modalitas atau pesawat radiografi yang menghasilkan sinar-X semuanya akan menyebabkan terjadinya reaksi ionisasi pada objek yang dilaluinya tidak terkecuali penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel. Terlepas dari kemajuan zaman, modalitas radiografi terutama yang digunakan dalam bidang kedokteran gigi memiliki karakter *low dose* tetapi tidak meluruhkan kewajiban untuk seluruh pengguna untuk memastikan dan menjamin prinsip proteksi radiasi dijalankan sebagaimana mestinya.

Perizinan penggunaan modalitas radiografi seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya menjadi suatu hal yang wajib dipenuhi oleh pengguna. Di Indonesia sendiri segala urusan perizinan modalitas radiografi diatur dan diawasi oleh BAPETEN. Untuk penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel sebenarnya hingga saat ini melalui Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional belum merekomendasikan dan mengizinkan sama sekali penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel untuk kebutuhan pemeriksaan rutin. Dalam lampiran peraturan tersebut dinyatakan bahwa pesawat sinar-X *handheld* portabel hanya boleh digunakan untuk pemeriksaan pasien yang tidak memungkinkan dibawa ke ruangan radiologi. Pernyataan ini sedikit berbeda dengan peraturan sebelumnya yang telah dinyatakan tidak berlaku lagi setelah peraturan BAPETEN Nomor 4 tahun 2020 resmi terbit.

Pada peraturan lama yang telah dicabut yaitu Peraturan Kepala BAPETEN Nomor tahun 2011 mutlak disebutkan pada pasal 49 ayat 1 bahwa pesawat sinar-X kedokteran gigi portabel dilarang untuk digunakan untuk pemeriksaan rutin. Adapun pada ayat 2, bahkan dalam hal pemeriksaan *dental victim identification* untuk kepentingan forensik, pesawat sinar-X kedokteran gigi portabel sebagaimana dimaksud pada ayat (1) boleh digunakan dengan memperhatikan keselamatan radiasi. Walaupun secara garis besar pada peraturan terlihat kelonggaran aturan mengenai penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel yang tidak lagi disebutkan dilarang secara mutlak untuk digunakan secara rutin, namun jika ditilik dari aturan terbaru tersebut disebutkan hanya untuk pasien yang tidak memungkinkan dibawa ke ruangan radiologi. Hal ini perlu dipahami dengan baik bahwa penggunaan alat Portabel hanya diperuntukkan pada pasien yang tidak dapat ke ruangan radiologi dan tentu tetap memperhatikan prinsip proteksi dan keselamatan radiasi (BAPETEN, 2020). Sejalan dengan aturan tersebut, seperti yang telah dikemukakan sebelumnya pada beberapa regulasi seperti dari EADMFR bahwa penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel untuk kebutuhan pasien harus dijustifikasi *case by case* terutama hanya untuk *homebound* atau *handicapped patient* yang memiliki mobilitas terbatas (Berkhout, dkk, 2015).

Beberapa ketentuan tambahan yang harus diperhatikan dalam penyusunan prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X *handheld* portabel antara lain adalah : a. dilengkapi dengan tanda perimeter dan perisai radiasi *mobile* untuk melindungi Pekerja Radiasi dan/atau pasien lain di sekitar pesawat sinar-X; b. berkas utama sinar-X tidak mengarah ke pekerja radiasi dan/atau pasien lain di sekitar pesawat sinar-X; c. pekerja radiasi harus menggunakan apron saat mengoperasikan pesawat sinar-X; dan d. pengujian pesawat sinar-X portabel dilakukan di ruangan radiologi terpasang tetap atau di ruangan lain dengan menggunakan perisai radiasi *mobile* (BAPETEN, 2020). Sebagai bahan perbandingan, *Public Health England* telah merilis *Guidance on the Safe Use of Hand-held Dental X-ray Equipment* pada tahun 2016 dengan banyak sekali persyaratan yang harus dipenuhi sebelum pesawat *handheld* Portabel *dental x-ray* dapat digunakan secara rutin seperti pembatasan dosis untuk pasien dan operator, desain alat yang direkomendasikan, serta penerapan IRR99 (*Ionizing Radiation Regulation* 1999) untuk bekerja dengan modalitas Portabel ini. IRR99 sendiri berfungsi mirip dengan BAPETEN yaitu membuat

persyaratan hukum termasuk otorisasi untuk penggunaan pesawat sinar-X, penunjukan pengawas proteksi radiasi dan penasihatnya, kontrol dan pembatasan paparan radiasi pengion (termasuk batas dosis), dan persyaratan peraturan regional (Gulson dan Holroyd, 2016). Selain itu, di beberapa negara bagian Amerika termasuk Michigan, Ohio, dan Washington mengizinkan penggunaan terbatas pesawat sinar-X *handheld* portabel dan menentukan kondisi khusus dalam penggunaan modalitas ini. Walaupun beberapa negara sudah memiliki regulasi tentang penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel, namun negara seperti Korea dan beberapa negara lain justru belum memiliki sama sekali sehingga belum ada konsensus secara global tentang keamanan penggunaan modalitas ini untuk kebutuhan rutin (Cho dan Han, 2012).

6.3 KUALITAS RADIOGRAFI PADA PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X *HANDHELD* PORTABEL

Jaminan kualitas dalam bidang radiologi adalah serangkaian prosedur yang dirancang untuk memastikan keoptimalan dan konsistensi setiap komponen dalam proses pemeriksaan radiografi. Jika semua komponen dalam prosedur yang dilakukan berfungsi dengan optimal, maka radiograf yang dihasilkan akan berkualitas tinggi, bernilai diagnosis yang baik, dan tetap memiliki nilai paparan radiasi yang rendah terhadap pasien dan operator. Serangkaian prosedur ini yang kemudian akan disebut dengan program jaminan kualitas radiografi yang sangat diperlukan dalam kegiatan yang berkaitan dengan paparan radiasi pengion (Berkhout, dkk, 2015; White dan Pharoah, 2014).

Program jaminan kualitas radiograf harus mendefinisikan karakteristik kualitas yang diperlukan sebagai syarat suatu radiograf dapat dikatakan berkualitas dan *diagnostically acceptable*. Program ini meliputi pula prinsip untuk mencegah adanya kegagalan atau kesalahan teknik radiografi atau kecelakaan radiasi yang dapat menyebabkan pasien, operator, atau lingkungan sekitar memperoleh tambahan paparan radiasi pengion yang tidak seharusnya (Berkhout, dkk, 2015).

Beberapa penelitian menyatakan bahwa *diagnostically acceptable image* terbukti diperoleh dari berbagai jenis pesawat sinar-X *handheld* portabel. Walaupun, kualitas hasil radiografi dapat lebih rendah dibandingkan radiograf yang diperoleh dari pesawat

wall-mounted. Kualitas radiograf dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor dimulai dari bagaimana akuisisi pencitraan dilakukan hingga bagaimana hasil radiograf ditampilkan. Proses akuisisi yang dimaksud meliputi interaksi dari modalitas radiografi, waktu paparan, geometri paparan, dan jenis reseptor gambar (Berkhout, dkk, 2015) . Prinsip ini diterima secara umum untuk analisis mutu radiograf termasuk pada saat kita akan mengevaluasi mutu radiograf yang diperoleh dari pesawat sinar-X *handheld* portabel.

Penelitian klinis oleh Brooks dkk (2008) yang membandingkan kualitas radiograf yang diperoleh dari penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel dari *brand* Nomad dengan pesawat *wall-mounted* pada kondisi klinis. Hasil penelitiannya mengungkapkan bahwa kualitas gambar dari radiografi yang diambil dengan Nomad dan pesawat *wall-mounted* tampaknya selevel dalam berbagai situasi klinis dan artefak gerak terlihat tidak signifikan pada Nomad. Hal ini sejalan dengan penelitian Pittayapat dkk (2010) yang menilai kualitas radiograf yang diperoleh dari pesawat sinar-X *handheld* portabel dari tiga *brand* dibandingkan dengan satu pesawat *wall-mounted* dengan hasil bahwa kualitas radiograf pada semua jenis modalitas bernilai baik dengan kombinasi Nomad dengan reseptor jenis pelat fosfor menunjukkan nilai yang paling baik. Hal ini mematahkan anggapan sebelumnya bahwa kualitas radiograf dari pesawat sinar-X *handheld* portabel masih cenderung lebih rendah daripada radiograf yang diperoleh dari pesawat *fixed wall-mounted*. Berdasarkan hal tersebut berarti dapat disimpulkan bahwa penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel dalam menghasilkan gambaran radiografi yang berkualitas tidak perlu diragukan (Swati, dkk, 2013).

6.4 EFEK RADIASI PENGION PADA PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X HANDHELD PORTABEL

Efek radiasi pengion terutama efek stokastik yang merupakan efek yang tidak bergantung pada besaran dosis yang diterima tetapi semakin sering paparan radiasi diterima oleh seseorang terutama operator pesawat *x-ray* atau radiografer maka akan semakin meningkat potensi terjadinya efek stokastik yang bersifat *sublethal DNA damaged* masih banyak diabaikan dalam penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel. Sebagian besar dokter gigi dan dokter

gigi spesialis maupun *dental assistant* yang menggunakan alat tersebut masih kurang memperhatikan prinsip proteksi radiasi karena kurangnya pemahaman tentang keamanan paparan radiasi yang diterima oleh operator dan juga orang-orang yang berada di lingkungan sekeliling area pemeriksaan radiografi menggunakan pesawat Portabel (Cho dan Han, 2012; Pooya, dkk, 2015).

Seperti yang telah diungkapkan sebelumnya bahwa *leakage* dan *scattered radiation* pada penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel merupakan isu penting yang harus diperhatikan dengan baik oleh operator pesawat radiografi. Hal ini tidak dapat dihindari pada penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel yang memang menuntut operator untuk menggenggam pesawat pada saat memberikan paparan kepada pasien (Cho dan Han, 2012). Efek yang dikhawatirkan akan meningkat probabilitasnya, termasuk juga efek stokastik, jika pengguna pesawat sinar-X *handheld* portabel tersebut tidak dapat mengontrol dosis efektif yang diterima operator dan tidak menerapkan prinsip proteksi radiasi yang adekuat.

Peningkatan probabilitas efek stokastik akibat paparan radiasi pengion pada seseorang tidak dapat diukur secara kuantitatif angka persentasenya, namun dapat dikontrol dengan penilaian secara berkala dosis yang diterima oleh seseorang untuk mengetahui seberapa besar jumlah paparan yang diterima dalam satuan waktu tertentu. Hal ini penting sebab walaupun efek stokastik tidak memiliki nilai *threshold dose* namun efek ini dapat terjadi kapan saja dan oleh paparan radiasi pengion dalam dosis berapa pun. Sebuah foton sinar-X tunggal memiliki potensi untuk menyebabkan mutasi DNA sehingga bahkan dosis radiasi terkecil pun bisa menyebabkan efek hereditas yang diturunkan atau *radiation-induced cancer* (White & Pharoah, 2014). Pemahaman penting tentang radiologi diagnostik akan menempatkan pasien pada potensi mendapatkan efek stokastik menjadi dasar bahwa jika pesawat sinar-X *handheld* portabel digunakan dalam aktivitas radiologi diagnostik sehari-hari maka hal ini memerlukan banyak pertimbangan terutama potensi efek yang dapat timbul bagi operator.

Sejak mulai luas digunakan pada dekade yang lalu tidak hanya untuk kebutuhan militer, forensik, dan pasien dengan keterbatasan tertentu, telah banyak ilmuwan di bidang radiologi kedokteran gigi khususnya yang *concern* pada proteksi radiasi, melakukan berbagai

penelitian untuk memperoleh informasi mengenai keamanan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel ini. Pooya dkk. (2015) melakukan penelitian dengan menilai keluaran paparan radiasi pengion pada suatu jenis pesawat sinar-X *handheld* portable dari produksi Genoray PORT X II (Genoray, Seongnam City, Korea) menggunakan *thermoluminescent dosimeters* (TLDs) yang hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan alat proteksi radiasi menjadi sangat penting untuk mengurangi *scattered radiation* yang diterima oleh operator seperti penggunaan *tube housing* atau *shielding* pada pesawat portabel dan memastikan penggunaan *thyroid apron* untuk melindungi area organ vital di area leher menjadi hal yang tidak bisa diabaikan untuk memastikan keamanan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel bagi operator. Hasil penelitian ini memberikan informasi penting kepada para pengguna untuk senantiasa memahami dan menyadari urgensi penerapan prinsip proteksi radiasi pada penggunaan pesawat portabel dengan tetap berpegang pada konsep *as low as reasonably achievable* (ALARA). Oleh karena itu, dalam penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel perlu selalu diperbarui evaluasi efikasinya terutama jika dibandingkan dengan pesawat radiografi *dental stasioner*.

Penelitian lain oleh Lee dkk. (2013) yang membandingkan lima jenis unit pesawat sinar-X *handheld* portabel dan tiga jenis unit pesawat radiografi *dental stasioner* atau *fixed* menyimpulkan bahwa pesawat portabel menunjukkan dosis *scattered radiation* yang rata-rata lebih tinggi daripada pesawat *fixed* sehingga lebih disarankan untuk keamanan radiasi menggunakan pesawat radiografi dental stasioner. Adapun menurut Cho dan Han (2012) jika pesawat sinar-X *handheld* portabel digunakan maka disarankan untuk memilih pesawat Portabel yang dilengkapi dengan *backscatter radiation shielding*, *long cone*, dan selalu menggunakan sarung tangan timah. Hasil ini secara *evidence-based* menunjukkan pengurangan dosis *scattered radiation* yang diterima oleh operator mencapai 50% dan melindungi organ operator di area dada dan pinggang hingga 37%.

Perhatian besar terhadap *scattered radiation* yang dapat memicu probabilitas peningkatan kemungkinan efek stokastik pada operator pesawat radiografi juga dituangkan dalam *position paper* oleh *European Academy of DentoMaxilloFacial Radiology* (EADMFR) mengenai justifikasi dan penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel yang benar. EADMFR mengemukakan bahwa penggunaan perangkat pesawat sinar-X *handheld* portabel

harus dipertimbangkan hanya setelah evaluasi yang cermat dan terdokumentasi dengan baik berdasarkan dukungan analisis fisika medis. Hingga saat ini belum ada bukti shahih penggunaan perangkat portabel memiliki manfaat lebih besar dibandingkan modalitas konvensional yang bersifat stasioner dan ketika tidak ada risiko tambahan bagi operator. Rekomendasi saat ini penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel hanya dibenarkan untuk situasi tertentu. Perhatian khusus harus diberikan pada perangkat *beam aiming*, kolimasi berbentuk persegi panjang, bagian reseptor sinar-X, jarak titik fokus-kulit tubuh, dan proteksi terhadap *backscatter radiation*. Selain itu, perangkat portabel mengantarkan dosis yang direproduksi terhadap kondisi lingkungan misalnya terkait dengan status baterai dan temperaturnya (Berkhout, dkk, 2015).

Berdasarkan berbagai hasil penelitian mengenai *scattered radiation* yang dapat memberikan paparan yang tidak dibutuhkan kepada operator pesawat sinar-X *handheld* portabel dalam penggunaannya membutuhkan serangkaian pertimbangan penting. Desain yang dirancang untuk digenggam oleh operator pada saat pemaparan dilakukan merupakan hal paling penting yang harus selalu diperhatikan sebab *scattered radiation* akan sangat merugikan bagi operator radiografi. Hal ini menjadi catatan penting untuk penggunaan pesawat sinar-X *handheld* portabel untuk kebutuhan aktivitas klinik rutin sehari-hari sebab walaupun dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jika proteksi radiasi diterapkan seperti penggunaan *housing shield* pada *tube* sinar-X di perangkat portabel akan mengurangi hingga 37% paparan *scattered radiation* untuk operator, namun tidak bisa dipungkiri operator tetap akan terkena paparan tambahan yang tidak akan diterima jika operator menggunakan pesawat radiografi *fixed* stasioner. hal ini terjadi karena operator dapat memberikan paparan tanpa harus berada tepat di samping pasien.



BAB 7

EFEK RADIASI TERHADAP LINGKUNGAN

Manusia terpapar radiasi secara alami setiap hari. Radiasi adalah energi yang terpancar dari materi (atom) dalam bentuk partikel atau gelombang. Radiasi dapat dikelompokkan menjadi radiasi pengion dan radiasi non pengion berdasarkan kemampuan dalam melakukan ionisasi. Radiasi pengion adalah radiasi yang jika menabrak sesuatu akan menghasilkan partikel bermuatan listrik yang disebut ion (ionisasi). Radiasi non-pengion adalah radiasi yang tidak dapat menimbulkan ionisasi.

7.1 SUMBER RADIASI

Sumber radiasi terdiri dari radiasi alam dan buatan. Sumber radiasi ini masing-masing memiliki dosis efektif besaran yang diukur dengan satuan milisievert (mSv) (Tabel 7.1).

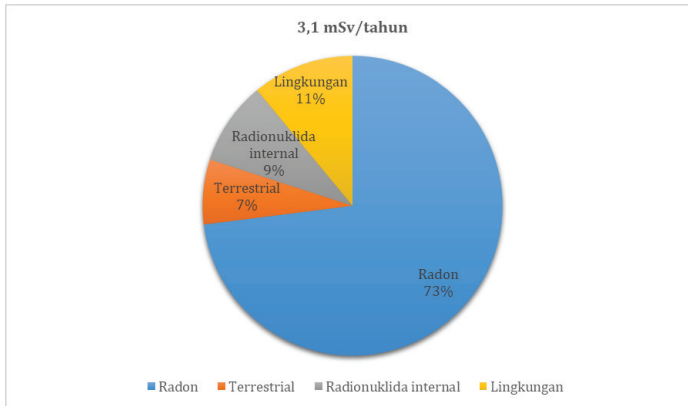
Tabel 7.1 Rata-Rata Dosis Efektif Radiasi Pengion

Sumber Radiasi	Dosis (mSv)
Radiasi Alam	
Radon	2,3
Lingkungan	0,3
Internal radionuklida	0,3
Terrestrial	0,2
Subtotal	3,1
Medis	
CT	1,5
Kedokteran nuklir	0,8
Fluoroscopy Intervensi	0,4
Radiography Konvensional dan Fluoroscopy	0,3
Kedokteran Gigi	0,007
Subtotal Medis	3,0
Produk konsumen dan lainnya	0,1
TOTAL	6,2

Sumber: *National Council on Radiation Protection and Measurements, 2009.*

7.2 RADIASI ALAM

Radiasi alam paling besar berasal dari gas radon diikuti radiasi lingkungan dan berbagai sumber terrestrial yang menghasilkan dosis efektif rata-rata tahunan sekitar 3,1 mSv di Amerika Serikat (Gambar 7.1).



Sumber: White and Pharoah, 2014

Gambar 7.1 Diagram Sumber Radiasi Alam

Radiasi alam berkontribusi rata-rata 3,1 mSv per tahun. Paparan paling besar berasal dari radon, dan kontribusi besar lainnya berasal dari lingkungan, internal radionuklida, dan terrestrial termasuk eksternal radionuklida dalam tanah dan bahan bangunan.

Gas radon merupakan sumber radiasi yang paling banyak di alam dan terbesar yang diterima manusia sebesar 73%. Radon adalah gas (radon 222) yang dilepaskan dari tanah dan masuk ke dalam rumah dan bangunan. Radon sendiri sedikit berbahaya, tetapi peluruhannya melepaskan partikel α menjadi polonium 218 dan 214. Isotop ini akan memancarkan partikel α lebih banyak. Radon dan partikel peluruhannya dapat menempel pada partikel debu dan terhirup menjadi endapan di epitel bronkial pada saluran pernapasan. Paparan jumlah radiasi ini dapat menyebabkan 10.000 sampai 20.000 kematian akibat kanker paru-paru per tahun di Amerika Serikat, sebagian besar terjadi pada perokok.

Sumber radiasi kedua terbesar sebanyak 11% dari radiasi lingkungan. Radiasi lingkungan berasal dari matahari atau sinar kosmik (angkasa luar). Radiasi ini terutama terdiri dari proton, inti helium, dan inti unsur yang lebih berat serta partikel lainnya yang dihasilkan dari interaksi radiasi dengan atmosfer bumi. Tingkat radiasi dari sumber kosmik bergantung pada ketinggian, radiasi

yang diterima akan semakin besar apabila posisinya semakin tinggi. Paparan radiasi akan meningkat setiap kenaikan 2.000 m dan atmosfer bumi dapat mengurangi radiasi kosmik yang diterima oleh manusia. Radiasi di permukaan bumi berasal dari zat radioaktif yang sudah ada sejak awal terbentuknya bumi dan tersimpan di lapisan kerak bumi. Pada saat meluruh, zat radioaktif tersebut menghasilkan energi atau radiasi berupa partikel α dan β , serta sinar γ .

Sumber radiasi selanjutnya sebesar 9% dari radionuklida internal. Paparan internal berasal dari makanan yang mengandung uranium dan thorium dan produk peluruhan mereka, terutama kalium 40, rubidium 87, karbon 14, tritium, dan lain-lain. Paparan terestrial kontribusi sekitar 7% dari paparan radiasi alam. Radiasi ini berasal dari paparan nuklida radioaktif di dalam tanah, terutama potasium 40 dan produk radioaktif hasil peluruhannya yaitu uranium 238 dan thorium 232. Sebagian besar radiasi γ berasal 20 cm dari tanah. Paparan di dalam ruangan hampir sama dengan paparan di luar ruangan karena adanya radiasi dari bahan material bangunan.

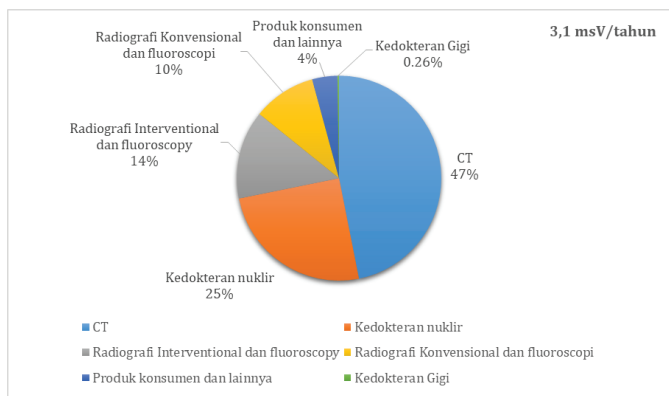
7.3 RADIASI BUATAN

Manusia banyak berkontribusi sumber radiasi buatan (Gambar 7.2) , paling banyak dipakai dalam bidang kedokteran meliputi radiasi pengion, diikuti produk konsumen dan sumber lainnya. Paparan medis di negara-negara maju telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir, terutama computed tomography (CT) dada dan perut dan peningkatan pada studi kedokteran nuklir jantung. Dosis rata-rata dari paparan medis sebanding dengan paparan radiasi alam. Pada bidang kedokteran gigi hanya sebesar 0,26% dari semua paparan radiasi buatan.

Produk konsumen memiliki kelompok yang menarik dan tidak terduga. Kelompok ini terdiri dari paparan berasal dari merokok, material bangunan, perjalanan udara, pertambangan dan pertanian, serta pembakaran bahan bakar fosil. Semakin sering manusia melakukan perjalanan, maka semakin banyak terpapar radiasi walaupun ada perlindungan atmosfer bumi. Pada penerbangan pesawat terbang selama 5 jam di tengah garis lintang

pada ketinggian 12 km dapat mengakibatkan eksposur sekitar 25 μSv . Sumber lainnya berasal dari porcelain dental, antena televisi, dan alarm asap. Totalnya, produk konsumen berkontribusi sebesar 4% dari keseluruhan radiasi buatan.

Sumber lain paparan dapat memengaruhi orang lain yang berkontak dengan pasien yang menerima perawatan kedokteran nuklir, pekerja yang bekerja di pembangkit listrik tenaga nuklir, manusia yang terlibat di bidang industrial, medis, pendidikan, atau penelitian, pekerja medis dan fasilitas radiografi gigi, serta pekerja di pemeriksaan bandara dan pilot pesawat komersial. Semua sumber radiasi ini berkontribusi sebesar 0,1% dari total paparan rata-rata tahunan.



Sumber: White and Pharoah, 2014

Gambar 7.2 Diagram Sumber Radiasi Buatan

Sumber radiasi di Amerika Serikat berasal dari pemeriksaan medis dan produk konsumen. Rata-rata masyarakat Amerika Serikat menerima radiasi buatan dari bidang kedokteran dan produk consumer (3 mSv/tahun). Di bidang berasal dari CT, kedokteran nuklir (pemeriksaan jantung primer), fluoroscopy, dan radiografi konvensional. Paparan dari pemeriksaan dental berkontribusi sedikit.

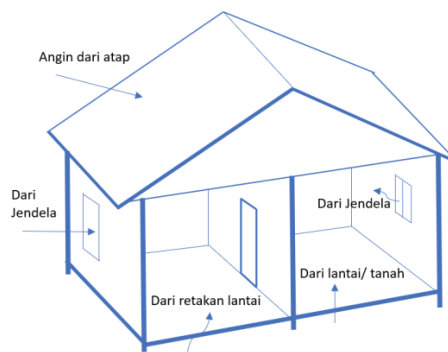
7.4 PERLINDUNGAN TERHADAP RADIASI ALAM

Beberapa wilayah di dunia memiliki tingkat radiasi alam yang sangat tinggi, seperti di daerah Ramsar-Iran, Guarapari-Brasil, Kelahar-India, dan Cina. Di Indonesia juga terdapat beberapa wilayah yang memiliki besar radiasi alam yang sangat tinggi. Biak, Maluku adalah daerah dengan konsentrasi Ra226 tertinggi mencapai 7500 Bq/kg (rerata nasional 33 Bq/kg). Mamuju, Sulawesi

Barat merupakan daerah dengan konsentrasi Th232 tertinggi mencapai 3400 Bq/kg (rerata nasional 45 Bq/kg) dan konsentrasi K40 tertinggi mencapai 1500 Bq/kg (rerata nasional 142 Bq/kg). Laju dosis radiasi gamma lingkungan tertinggi terdapat di Mamuju, Sulawesi Barat mencapai 10.000 nSv/jam (rerata nasional 56 nSv/jam).

World Health Organization (WHO) merekomendasikan batas referensi paparan radon di udara permukiman yang tidak menimbulkan efek kesehatan sebesar maksimal 100 Bq/m³. Pada wilayah khusus yang memiliki radiasi latar belakang tinggi (*High Background Radiation Area*, HBRA) direkomendasikan batas referensi paparan radon di udara permukiman yang tidak menimbulkan efek kesehatan maksimal 300 Bq/m³ (atau setara dengan 10 mSv/tahun). Pengukuran radon dan radiasi gamma lingkungan mudah dilakukan, tetapi memerlukan prosedur standar untuk menjamin akurasi dan presisi dari suatu pengukuran. Pengukuran radon bisa dilakukan pada jangka pendek dan juga jangka panjang tetapi pengukuran radon secara terus-menerus dalam jangka panjang lebih dapat diandalkan. Untuk radiasi gamma pengukuran sesaat bisa dipakai untuk memperkirakan dosis radiasi yang diterima dalam setahun.

Paparan radon terbesar terjadi di tempat tinggal dan bangunan yang memungkinkan masyarakat terpapar untuk periode waktu yang lama seperti sekolah, fasilitas umum, dan penginapan. Kontribusi berbagai sumber radon adalah seperti masuknya gas dari tanah akibat perbedaan tekanan, pancaran radon dari bahan bangunan, dan radon dalam air (Gambar 7.3).



Sumber: Wahyudi, dkk, 2019

Gambar 7.3. Mekanisme Pergerakan Radon di Dalam Ruangan

Mekanisme transpor radon yang paling penting adalah melalui aliran udara karena perbedaan tekanan udara (adveksi) dari tanah ke ruang yang ditempati dan perbedaan konsentrasi gas radon (difusi). Perbedaan tekanan udara antara tanah dan ruangan adalah penyebab utama masuknya radon sehingga strategi untuk menurunkan dalam ruangan dilakukan dengan membalikkan perbedaan tekanan tersebut. Hal ini umumnya dicapai dengan dua cara, yaitu: penurunan tekanan tanah secara aktif (menggunakan kipas angin) atau penurunan tekanan tanah secara pasif (tanpa menggunakan kipas angin).

Beberapa hal yang dapat kita lakukan agar kita dapat hidup sehat walaupun terpapar radiasi dengan cara menambah luas ventilasi rumah dengan memastikan minimal luas ventilasi 10% dari luas lantai. Selalu membuka jendela setiap hari. Memperbaiki dinding atau lantai yang retak. Menampung air dalam wadah untuk keperluan sehari-hari. Tidak tidur di lantai tanpa alas. Tidak merokok di dalam rumah. Tidak menggunakan bahan bangunan dengan radioaktivitas tinggi di dalam rumah/bangunan. Bila memperbaiki rumah, disarankan agar di bawah lantai perlu diberi bambu yang sudah dihilangkan buku-bukunya sehingga gas radon dan thoron dapat mengalir melalui bambu. Bila membangun rumah baru, disarankan untuk membangun jenis rumah panggung dan terbuat dari bahan-bahan yang kadar radionuklida alamnya rendah.



BAB 8

PESAWAT SINAR-X YANG IDEAL PADA PRAKTIK KEDOKTERAN GIGI

Penggunaan pesawat sinar-X pada praktik pribadi, praktik bersama, klinik ataupun rumah sakit yang ideal adalah instalasi radiodiagnosis tersebut bermanfaat sebagai penunjang diagnosis, dan aman bagi dokter, pasien dan lingkungan. Untuk menjamin keamanan pesawat sinar-X tersebut, maka diperlukan perizinan yang tercakup di dalamnya Spesifikasi Unit Pesawat sinar-X dan/atau Sertifikat Pengujian Tabung sinar-X, Denah Ruangan dan Sekitarnya, Laporan Verifikasi Keselamatan Radiasi, Personel, Surat Izin Bekerja dari Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat II ; Hasil Pemantauan Kesehatan Pekerja Radiasi, Bukti Permohonan Pelayanan Pemantauan Dosis Perorangan Atau Hasil Evaluasi Pemantauan Dosis Perorangan, Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi, Prosedur Pengoperasian Alat, dan Uji Kesesuaian.

Dokter gigi yang memiliki pesawat sinar-X harus mengurus perizinan alatnya. Pemberian izin alat sinar-X oleh BAPETEN kepada orang atau badan merupakan salah satu upaya memastikan keselamatan kerja, anggota masyarakat, dan perlindungan terhadap lingkungan hidup dengan mempertimbangkan risiko bahaya radiasi. Pemberian izin pada prinsipnya merupakan kepastian hukum dan perlindungan hukum dari permohonan perizinan. Dengan adanya izin pemanfaatan maka dapat memberikan kepastian hukum jika suatu saat terjadi sengketa/kasus.

8.1 PERSYARATAN TEKNIS

Dalam mengurus perizinan, dokter gigi harus memenuhi persyaratan teknis sesuai ketentuan yang dibuat oleh Bapeten antara lain yaitu, Spesifikasi Unit Pesawat sinar-X dan/atau Sertifikat Pengujian Tabung sinar-X, Denah Ruangan dan Sekitarnya, Laporan Verifikasi Keselamatan Radiasi; Personel; Surat Izin Bekerja dari Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat II ; Hasil Pemantauan Kesehatan Pekerja Radiasi; Bukti Permohonan Pelayanan Pemantauan Dosis Perorangan atau Hasil Evaluasi Pemantauan Dosis Perorangan; Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi; Prosedur Pengoperasian Alat; Kalibrasi Dosimeter Perorangan Pembacaan Langsung (BAPETEN, 2019).

- 1) Spesifikasi Unit Pesawat sinar-X dan/atau Sertifikat Pengujian Tabung sinar-X
 - a) Spesifikasi teknis dan sertifikat pemenuhan standar internasional.

- b) Untuk pesawat baru wajib menyampaikan Spesifikasi teknis unit pesawat sinar-X yang memuat merek, model, tipe serta kapasitas maksimum pesawat sinar-X dan Sertifikat pemenuhan standar internasional (IEC, ISO, TUV, dsb).
 - c) Untuk pesawat hibah atau bekas, spesifikasi teknis dan sertifikat pemenuhan standar internasional dapat diganti dengan berita acara atau surat penjelasan hibah asal usul pesawat sinar-X dari Pemohon Izin.
 - d) Pesawat sinar-X radiografi umum dan radiografi mobile harus memiliki spesifikasi daya generator paling rendah 5 kW, mampu dioperasikan hingga 100 kV dan memiliki kuat arus minimum 50 mA.
 - e) Pesawat portabel dilarang untuk penggunaan rutin.
- 2) Denah Ruangan dan Sekitarnya
- a) Denah ruangan penggunaan pesawat sinar-X yang memuat: ukuran ruangan (p x l x t), bahan dan ketebalan penahan radiasi serta pintu, dan batas-batas dengan ruangan sekitar.
 - b) Ukuran ruangan pesawat sinar-X dan *mobile station* harus sesuai dengan spesifikasi teknik pesawat sinar-X dari pabrik atau rekomendasi standar internasional atau memiliki ukuran berdasarkan ketentuan Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011.
 - c) Dinding ruangan untuk semua jenis pesawat sinar-X terbuat dari bata merah ketebalan 25 cm (duapuluh lima sentimeter) atau beton dengan kerapatan jenis 2,2 g/cm³ (dua koma dua gram per sentimeter kubik) dengan ketebalan 20 cm (duapuluh sentimeter) atau setara dengan 2 mm (dua milimeter) timah hitam (Pb), dan pintu ruangan pesawat sinar-X harus dilapisi dengan timah hitam dengan ketebalan tertentu.
 - d) Ukuran minimal ruangan untuk Radiografi Intraoral adalah 2m x 2m x 2,8 m (panjang x lebar x tinggi), sedangkan ukuran minimal ruangan untuk Radiografi Ekstraoral adalah 3m x 2m x 2,8 m (panjang x lebar x tinggi), atau sesuai rekomendasi pabrikan alat, dan jarak pesawat terhadap dinding minimal 1m
 - e) Pintu ruangan pesawat sinar-X harus dilapisi dengan 2 mm timah hitam (Pb).

- f) Untuk pesawat radiografi mobile yang tidak dioperasikan di ruang radiologi, harus dilengkapi dengan tabir radiasi mobile untuk melindungi pekerja dan anggota masyarakat atau memiliki prosedur proteksi radiasi bagi pekerja dan anggota masyarakat di sekitar pesawat radiografi mobile.
- g) Memiliki tanda Radiasi, poster peringatan bahaya Radiasi, dan lampu merah.

3) Laporan Verifikasi Keselamatan Radiasi

Laporan verifikasi keselamatan berupa uji fungsi pesawat sinar-X, pengukuran paparan radiasi dan sertifikat/notisi lolos uji kesesuaian pesawat sinar-X. Uji fungsi dilakukan oleh importir yang memiliki izin dari BAPETEN. Dalam hal instalatir tidak melakukan uji fungsi, dapat dipenuhi persyaratannya dengan sertifikat lolos uji kesesuaian atau laporan hasil uji kesesuaian lengkap dari Penguji Berkualifikasi setelah ada surat penjelasan bahwa instalatur tidak melakukan kewajibannya.

Pengukuran paparan radiasi dilakukan oleh PPR importir yang memiliki izin dari BAPETEN dan dokumen harus disahkan (ditandatangani PPR dan distempel). Pengukuran dilakukan pada kondisi klinis maksimum dengan menggunakan phantom. Dalam hal instalatur tidak melakukan pengukuran paparan radiasi, dapat digantikan dengan pengukuran paparan radiasi oleh personil Penguji Berkualifikasi atau PPR RS yang memiliki SIB yang masih berlaku setelah ada surat penjelasan bahwa instalatir tidak melakukan kewajibannya. Sertifikat lolos uji kesesuaian pesawat sinar-X dari Tenaga Ahli, ketika sertifikat lolos uji kesesuaian dari Tenaga Ahli belum diterima, pemohon Izin dapat menyampaikan bukti penyampaian Laporan Hasil Uji Kesesuaian ke Tenaga Ahli. Khusus pesawat pengukur densitas tulang (Bone Mineral Densitometry/BMD) tidak dipersyaratkan melakukan uji kesesuaian.

4) Ijazah Personil

Menurut ketentuan BAPETEN (2019), dalam menjalankan pesawat radiografi kedokteran gigi diperlukan personel yaitu Dokter Spesialis Radiologi atau Dokter Gigi Spesialis Radiologi Kedokteran Gigi atau Dokter Gigi yang berkompeten, Petugas Proteksi Radiasi, dan radiografer.

Radiografer minimal harus memiliki latar belakang pendidikan D-III Radiologi. Personel yang bukan pekerja radiasi, seperti dokter konsulen, tenaga administrasi dan tenaga kamar gelap tidak dipersyaratkan hasil pemantauan kesehatan dan layanan pemantauan dosis radiasi perorangan

Personel tersebut harus dilengkapi dengan data persyaratan izin, meliputi:

- Fotokopi KTP;
- Fotokopi ijazah;
- Hasil pemeriksaan kesehatan periode pemeriksaan 1 tahun terakhir (jenis pemeriksaan meliputi: pemeriksaan fisik, dan pemeriksaan laboratorium (urine dan darah), mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi; dan
- Hasil Evaluasi Penerimaan Dosis Perorangan (Laporan Penerimaan Dosis Terbaru Periode Pemakaian Terbaru) atau bukti layanan dosis perorangan.

5) Surat Izin Bekerja dari Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat II

Surat Izin Bekerja (SIB) Petugas Proteksi Radiasi (PPR) Medik Tingkat II yang masih berlaku. PPR Medik Tingkat II diperbolehkan bekerja maksimal di 3(tiga) fasilitas yang terjangkau, PPR Medik Tingkat II yang juga memiliki SIB PPR Medik Tingkat I dan sudah digunakan di kegiatan Impor dan pengalihan, Radioterapi atau Kedokteran Nuklir maka SIB Medik Tingkat II tidak dapat digunakan kecuali untuk fasilitas yang sama. PPR yang memiliki SIB PPR Medik Tingkat I dan belum digunakan di kegiatan Impor dan pengalihan, Radioterapi atau Kedokteran Nuklir diperbolehkan menjadi PPR di kegiatan Radiologi Diagnostik dan Intervensial.

6) Hasil Pemantauan Kesehatan Pekerja Radiasi

Hasil pemantauan kesehatan pekerja radiasi yang disampaikan merupakan hasil pemeriksaan 1 (satu) tahun terakhir yang meliputi pemeriksaan fisik, anamnesis, pemeriksaan laboratorium darah dan urine serta dilengkapi *resume* dokter berwenang.

7) Bukti Permohonan Pelayanan Pemantauan Dosis Perorangan Atau Hasil Evaluasi Pemantauan Dosis Perorangan

Pemantauan dosis radiasi perorangan dari Laboratorium Dosimetri Eksternal yang terakreditasi atau ditunjuk oleh BAPETEN. Bagi Personel baru diperbolehkan menyampaikan bukti pelayanan dosis radiasi perorangan baik berupa TLD, film ataupun OSL badge dari Laboratorium Dosimetri Eksternal dengan lokasi penggunaan sesuai fasilitas permohonan izin. Sedangkan untuk Personel yang sudah menggunakan peralatan pemantauan dosis radiasi perorangan baik untuk TLD, film ataupun OSL badge wajib menyampaikan hasil evaluasi pemantauan dosis radiasi perorangan untuk periode penggunaan 3 (tiga) hingga 6 (enam) bulan terakhir dengan lokasi penggunaan sesuai fasilitas permohonan izin.

8) Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi

Pengurus izin harus memiliki Dokumen Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi yang disahkan oleh Pemohon Izin dengan sistematika mengacu Lampiran I Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.

Khusus untuk perpanjangan izin, pengurus izin wajib menyampaikan Laporan Pelaksanaan Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi.

Program proteksi dan keselamatan radiasi adalah salah satu persyaratan izin, merupakan dokumen yang dinamis, sangat terbuka untuk dimutakhirkan secara periodik. Pemutakhiran dilakukan baik atas inisiatif Pemegang Izin sendiri maupun melalui masukan yang disampaikan oleh BAPETEN.

Tujuan utama program proteksi dan keselamatan radiasi adalah menunjukkan tanggung jawab Pemegang Izin melalui penerapan struktur manajemen, kebijakan, dan prosedur yang sesuai dengan sifat dan tingkat risiko. Ketika inspeksi dilakukan di suatu fasilitas, dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi menjadi salah satu topik diskusi antara tim inspeksi dengan Pemegang Izin, PPR dan praktisi medis (BAPETEN, 2019)

Sistematika secara umum dari program proteksi dan keselamatan radiasi yang akan disusun oleh PPR.

9) Prosedur pengoperasian alat

Pemohon izin menyerahkan Prosedur pengoperasian alat yang menjelaskan bagaimana pesawat sinar-X dioperasikan, termasuk pengaturan faktor eksposi untuk berbagai jenis pemeriksaan.

10) Kalibrasi Dosimeter Perorangan Pembacaan Langsung

8.2 TARIF PERIZINAN

Tarif PNBP Perizinan mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 56 Tahun 2014 tentang Jenis dan Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku Pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir, menurut Bapeten (2019), tarif yang harus dibayarkan untuk mengurus perizinan pesawat radiologi kedokteran gigi adalah Rp. 600.000,00 dan untuk perpanjangan sebesar Rp. 400.000,00.

8.3 UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X

Praktisi medis wajib menggunakan Tingkat Panduan untuk Paparan Medis pada saat melaksanakan prosedur radiologi diagnostik dan intervensional, untuk mengoptimalkan proteksi terhadap pasien. Untuk memastikan bahwa Tingkat Panduan dipatuhi, uji kesesuaian wajib dilakukan terhadap pesawat sinar-X untuk radiologi diagnostik dan intervensional. Sertifikat uji kesesuaian pesawat sinar-X berlaku 4 (empat) tahun (BAPETEN, 2019)

Paparan medis yaitu paparan radiasi yang diterima oleh pasien sebagai bagian dari diagnosis atau pengobatan ketika melakukan pemeriksaan menggunakan Pesawat Sinar X, CT Scan, Mammografi, Fluoroskopi, Radioterapi, dll. Perlindungan pasien dari paparan radiasi yang tidak perlu (*unnecessary exposure*) menjadi aspek yang penting untuk diperhatikan. Pasal 39 ayat (1) Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan

Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif menyatakan bahwa praktisi medis wajib mematuhi tingkat panduan untuk paparan medis pada saat menggunakan pesawat sinar-X dan CT Scan untuk melindungi pasien dari paparan radiasi berlebih. Hal ini diperkuat dengan hadirnya Peraturan BAPETEN (Perba) Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional, khususnya Pasal 46, yang menyatakan bahwa penerapan tingkat panduan diagnostik merupakan salah satu aspek untuk mengoptimalkan proteksi dan keselamatan radiasi bagi pasien saat diberikan paparan medis untuk keperluan diagnostik. Dengan tersedianya tingkat panduan diagnostik atau *Diagnostic Reference Level* (DRL), penerimaan dosis yang tidak tepat pada pasien dapat dihindarkan (BAPETEN, 2021).

Nilai DRL akan menjadi indikator yang membantu rumah sakit atau klinik dalam menerapkan dosis radiasi pada pemeriksaan pasien radiologi secara optimal. Penetapan nilai DRL secara nasional, selanjutnya disebut sebagai Indonesian DRL (I-DRL) dilakukan melalui hasil survei dosis radiasi pasien secara nasional menggunakan aplikasi Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN), proses perhitungan kuantitatif, serta pembahasan teknis bersama para pakar dari Kementerian Kesehatan (Kemenkes) dan berbagai perwakilan organisasi yang relevan, seperti: Komisi Akreditasi Rumah Sakit (KARS), Perhimpunan Rumah Sakit Seluruh Indonesia (PERSI), Perhimpunan Dokter Spesialis Radiologi Klinik Indonesia (PDSRKI), Perhimpunan Radiografer Indonesia (PARI), Aliansi Fisikawan Medik Indonesia (AFISMI), Politeknik Kesehatan Jakarta II, Politeknik Kesehatan Semarang, Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Departemen Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, dan beberapa rumah sakit vertikal (BAPETEN, 2021).

Dengan penetapan nilai I-DRL, diharapkan fasilitas pelayanan kesehatan dapat menggunakan nilai tersebut sebagai indikator untuk memandu pemberian dosis radiasi pada pasien yang akan melakukan pemeriksaan diagnostik (antara lain melalui rontgen dan CT Scan). Nilai I-DRL nantinya digunakan sebagai alat pembanding bagi dosis radiasi hasil pemeriksaan pasien. Jika dosis radiasi hasil pemeriksaan pasien menunjukkan nilai lebih tinggi dari I-DRL, artinya pasien menerima dosis radiasi yang melebihi dari nilai panduan yang berpotensi merugikan kesehatannya.

Namun bila pasien menerima dosis radiasi dengan nilai yang jauh di bawah I-DRL, kualitas gambar/citra diagnostik tidak cukup memberikan informasi penyakit pasien sehingga perlu diulang proses foto rontgen atau CT Scan-nya. Kedua kondisi tersebut dapat dikategorikan sebagai *unnecessary exposure*. Pemberian dosis radiasi yang baik adalah di bawah nilai I-DRL agar pasien terlindungi dan foto rontgen dan CT Scan yang dihasilkan dapat memberikan kualitas citra/gambar diagnostik yang baik (BAPETEN, 2021).

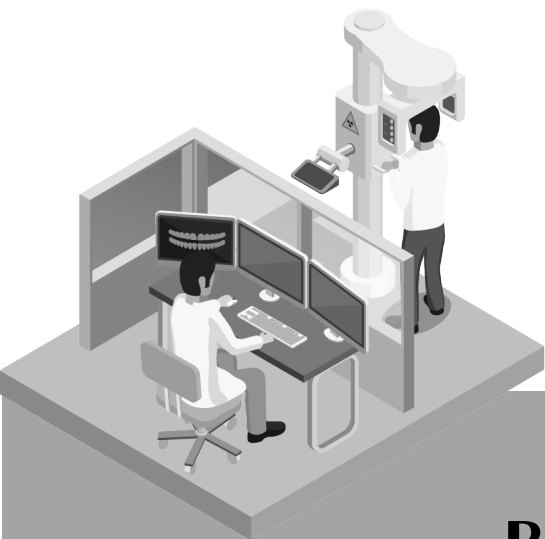
Tabel 8.1 Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (I-DRL)

radiografi	ESAK (mGy) *	INAK (mGy) **
Skull AP	1,3	0,9
skull lateral	1,2	0,9
Waters	1,7	1,2

Sumber : BAPETEN, 2021

Keterangan:

- a) Nilai di atas untuk kelompok usia di atas 15 tahun;
- b) * ESAK = Entrance Surface Air Kerma, kerma udara dengan hamburan balik. Nilai ESAK diperoleh dengan mempertimbangkan faktor hamburan balik sebesar 1,35; dan
- c) ** INAK = Incident Air Kerma, kerma udara tanpa hamburan balik.



BAB 9

KESIMPULAN

Sejak ditemukan oleh Roentgen pada tahun 1895, sinar-X telah memberikan manfaat yang besar dalam bidang radiodiagnostik termasuk pada bidang kedokteran gigi. Penggunaan modalitas sinar-X pada bidang radiologi kedokteran gigi telah berkembang pesat, salah satunya adalah pesawat sinar-X *handheld* portabel. Selain memiliki manfaat yang sangat besar dalam penentuan diagnosis dan rencana perawatan, sifat sinar-X juga memiliki energi besar sehingga mampu menembus jarak lebih jauh dan kemampuan menyebabkan kerusakan biologis pada jaringan hidup, maka perlu disadari bahwa penggunaan sinar-X yang tidak sesuai dengan kaidah proteksi radiasi juga dapat menimbulkan dampak negatif. Oleh sebab itu, diperlukan evaluasi mendalam terhadap suatu modalitas, prosedur dan teknik baru yang menggunakan radiasi pengion khususnya sinar-X.

Penggunaan sinar-X selalu erat kaitannya dengan biologi radiasi. Semua alat yang menggunakan sinar-X (alat sinar-X permanen, portabel maupun *handheld* portable) dapat memberikan efek biologis pada makhluk hidup, baik pada operator atau pengguna, pasien, masyarakat dan lingkungan sekitar. Efek awal radiasi pengion pada makhluk hidup dapat terjadi dimulai pada 10-13 detik pertama setelah paparan dan radiasi memodifikasi molekul biologis pada tubuh dalam hitungan detik hingga jam. Radiasi pengion dapat memengaruhi makhluk hidup secara langsung dengan memodifikasi DNA atau secara tidak langsung dengan membentuk radikal bebas. Efek radiasi sinar-X pada tubuh dapat dibagi menjadi efek deterministik dan stokastik, hal ini tergantung pada dosis radiasi, waktu paparan radiasi, frekuensi paparan radiasi dan respons yang diberikan tubuh sebagai akibat paparan radiasi pengion tersebut.

Sinar-X termasuk dalam sumber radiasi buatan. Dalam kehidupan sehari-hari, manusia terpapar bukan hanya radiasi buatan saja tetapi tanpa disadari dapat terpapar radiasi alam juga. Radiasi alam bersumber dari radiasi radon, lingkungan, internal radionuklida, dan terestrial. Radiasi buatan banyak dipakai dalam bidang medis yaitu pada CT, kedokteran nuklir, radiografi interventional dan *fluoroscopy*, radiografi konvensional dan *fluoroscopy*, produk konsumen dan lainnya, serta kedokteran gigi. Paparan dari radiasi alam dan buatan masing-masing berkontribusi rata-rata sebesar 3,1 mSv per tahun. Maka dari itu, operator di instalasi radiologi kedokteran gigi harus berhati-hati

dalam melakukan tindakan radiografi yang menggunakan sinar-X agar tepat sesuai indikasi dan tidak melakukan kesalahan. Selain itu, operator juga mencatat setiap tindakan dan besar dosis radiasi radiografi yang menggunakan sinar-X terkait dengan efek samping yang dapat dihasilkan dari penggunaan sinar-X.

Penggunaan semua jenis radiografi *handheld* portabel untuk tujuan pemeriksaan radiografi kedokteran gigi rutin hingga saat ini di Indonesia tidak dapat dilakukan dan tidak terjustifikasi. BAPETEN hanya merekomendasikan untuk tujuan DFI (*Dental Forensic Identification*) dan bukan untuk pelayanan radiografi dalam praktik Kedokteran gigi. Hal ini juga cukup sejalan dengan beberapa regulasi dan rekomendasi dari berbagai negara maupun lembaga internasional yang mengatur tentang proteksi radiasi, bahwa penggunaan modalitas radiografi *handheld* portabel sebagian besar masih dibatasi penggunaannya bahkan beberapa aturan dengan tegas melarang atas berbagai macam pertimbangan.

Kesalahan pada saat pemeriksaan radiografis menggunakan pesawat sinar-X *handheld* portabel bagi operator sering terjadi, hal ini terjadi karena pesawat sinar-X portabel yang berat harus dipegang dan ditahan dengan tangan operator, mengingat alat ini tidak disangga oleh dinding, maka dibutuhkan keterampilan operator untuk memegang, dan melakukan teknik pemeriksaan radiografi intraoral yang tepat. Apabila terjadi kegoyangan, kesalahan sudut atau kesalahan *positioning* maka menyebabkan hasil pemeriksaan radiografis gagal. Kegagalan radiograf menyebabkan paparan dilakukan berulang. Paparan yang dilakukan berulang akan menimbulkan tambahan radiasi yang tidak perlu. Selain itu tidak adanya pengaturan dosis radiasi kVp dan mA pada alat *handheld* portabel, menyebabkan dosis radiasi tidak bisa diatur sesuai kebutuhan, padahal dosis radiasi yang dibutuhkan pasien anak-anak dan dewasa berbeda, untuk rahang atas dan jenis gigi juga membutuhkan dosis radiasi yang berbeda pula. Pemberian dosis radiasi yang tidak dibutuhkan akan meningkatkan risiko radiasi pula.

Perizinan pesawat sinar-X *handheld* portabel dalam penggunaannya di bidang kedokteran gigi untuk kepentingan radiodiagnostik di Indonesia belum dapat dikeluarkan. BAPETEN menyatakan bahwa dari berbagai merk pesawat sinar-X jenis tersebut yang masuk ke Indonesia, beberapa sudah terjustifikasi, namun belum ada satupun merk yang dapat menyediakan data

valid tentang kualitas citra pada paparan ke manusia (pasien). Oleh karena itu, pesawat sinar-X jenis portabel *handheld* ini direkomendasikan untuk tidak digunakan untuk keperluan radiodiagnostik pada pasien. Regulasi di negara lain bisa jadi berbeda, namun tentunya tidak bisa dijadikan alasan atau patokan untuk melanggar peraturan yang berlaku saat ini di Indonesia.

Alat sinar-X yang ideal di praktik kedokteran gigi adalah menggunakan *wall-mounted* atau alat sinar-X yang menempel di dinding yang telah dilakukan uji kesesuaian dan memiliki perizinan dari BAPETEN, termasuk di dalamnya kelengkapan legal, kalibrasi, dan pengujian kebocoran. Pengoperasian alat sinar-X ini harus dilakukan oleh tenaga yang memiliki pengetahuan dalam pengoperasian dan teknik radiografi dan dilakukan pada ruangan khusus yang diproteksi sesuai aturan. Selain itu, juga perlu dilengkapi dengan proteksi radiasi tambahan berupa pemakaian apron, TLD, *shielding* timbal, dan pengaturan jarak antara sumber sinar-X dengan operator, dan jarak antara sumber sinar-X dengan kulit pasien.



DAFTAR PUSTAKA



- American Dental Association (ADA) Council on Scientific Affairs. 2012. *Dental Radiographic Examination : Recommendation for Patient Selection and Limiting Radiation Exposure*.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2013. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Jakarta. BAPETEN
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2019. *Standar Pelayanan Perizinan Fasilitas Kesehatan*.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2019. *Pedoman Layanan Perizinan Pesawat sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta. BAPETEN
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2020. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat sinar-X Dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional*.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2021. *Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor : 1211/K/V/2021 tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level) Untuk Modalitas sinar-X CT Scan dan Radiografi Umum*. Jakarta. BAPETEN
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2021. *Peresmian Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level, I-DRL) No: 003/SP/HM 02/BHKK/V/2021*. Jakarta
- Benn, D. K., dan Vig, Peter S. 2021. *Estimation Of X-Ray Radiation Related Cancers In US Dental Offices: Is It Worth The Risk? Oral And Maxillofacial Radiology*. Vol 132 (5): 597-608
- Berkhout, W.E.R., Suomalainen, A., Brullmann, D., dkk. 2015. *Short Communication: Justification and good practice in using handheld portable dental X-ray equipment: a position paper prepared by the European Academy of DentoMaxilloFacial*

- Radiology (EADMF)*. Dentomaxillofacial Radiology Vol.44.
- Brooks, S.L., McMinn, W.E., dan Benavides, E. 2008. *Image quality of the Nomad Portable Dental X-ray Machine: A Clinical Study*. Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology
- Bushong, Steward C. 2013. *Radiologic Science for Technologists, Physics*. Biology and Protection. Saint Louis : Elsevier
- Cho, J.Y, Han, W.J., dan Kim, E.K. 2007. *Absorbed And Effective Dose From Periapical Radiography by Portable Intraoral X-Ray Machine*. Korean Journal Oral Maxillofacial Radiology Vol.37
- Cho, J.Y., dan Han, W.J. 2012. *The Reduction Methods Of Operator's Radiation Dose Portable Dental X-Ray Machines*. Restorative dentistry dan Endodontics Vol.37 (3).
- Chauhan, V., dan Wilkins, R.C. 2019. *A Comprehensive Review Of The Literature On The Biological Effects From Dental X-Ray Exposures*. International Journal of Radiation Biology, Vol.95, No. 2 (107-119), DOI: 10.1080/09553002.2019.1547436
- Goaz PW, White SC. 2006. *Oral Radiology Principles and Interpretation*. 3rd ed. CV. Mosby Co. St. Louis – Baltimor Boston - Chicago
- Gulson, A.D., dan Holroyd, J.R. 2016. *Guidance On The Safe Use Of Hand-Held Dental X-Ray Equipment*. Public Health England
- Hall, E.J., dan Giaccia, A.J. 2019. *Radiobiology For The Radiologist 8th* Philadelphia: Wolters Kluwer
- Hiswara, E. 2015. *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit*. Jakarta : Batan Press
- Hwang, S.Y., Choi, E.S., Kim, Y.S., dkk. 2018. *Health Effects From Exposure To Dental Diagnostic X-Ray*. Environmental Health and Toxicology. Vol 3(4): 1-6. <https://doi.org/10.5620/eh.t.e2018017>
- Kim, Y.J., Cha, E.S., dan Lee, W.J. 2016. *Occupational Radiation Procedures And Doses In South Korean Dentists*. Community Dentistry and Oral Epidemiology. Vol 44(5): 476 -484. doi: 10.1111/cdoe.12237
- Lee, M.J., Seo, J.H., Lee, M.G., Choi, Y.H. 2013. *Leakage And Scattered Radiation Dosage In Portable Dental X-Rays*. International Journal of Clinical Preventive Dentistry. Vol. 9 (3)
- Mallya, M. Sanjay, dan Lam, W.N. Ernest. 2019. *Oral Radiology Principles and Interpretation Edisi 8*. Elsevier

- Mallya, M. Sanjay dan Lam, W.N. Ernest. 2018. *White and Pharoah's Oral Radiology Principles and Interpretation 8th Edition*. Los Angeles : Elsevier
- National Council on Radiation Protection and Measurements. 2009. *National Council on Radiation Protection and Measurements: Ionizing radiation exposure of the population of the United States*.
- Nitschke, Julia., Schorn, L., Holtmann, H., dkk. 2021. *Image Quality Of A Portable X-Ray Device (Nomad Pro 2) Compared To A Wall-Mounted Device In Intraoral Radiography*. Heinrich Heine University
- Pemerintah Republik Indonesia. 2008. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*.
- Piotrowski, I., Kulcenty, K., Suchorska, W.M., dkk. 2017. *Carcinogenesis Induced By Low-Dose Radiation*. Radiology and Oncology. Vol 51(4): 369-377. doi: 10.1515/raon-2017-0044
- Pittayapat, P., Oliveira-Santos, C., Thevissen, P., dkk. 2010. *Image Quality Assessment And Medical Physics Evaluation Of Different Portable Dental X-Ray Units*. J.forsciint.
- Pooya, S.M.H., Hafezi, L., Manafi, F., dkk. 2015. *Assessment Of The Radiological Safety Of A Genoray Protable Dental X-Ray Unit*. Dentomaxillofacial Radiology Vol.44.
- Pramanik, Farina, dan Firman R.N. 2015. *Interpretasi Cone Beam Computed Tomography 3-Dimension dalam Pemasangan Implan Dental di Rumah Sakit Gigi Mulut Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjajaran*. Dentofasial: Vol.14, No. 1 (50-54).
- Profil BAPETEN. Badan Pengawas Tenaga Nuklir - Profil BAPETEN diakses pada 22 Februari 2022
- Rainer, dan Bram. 2019. *Precision Of Aiming With A Portable X-Ray Device (Nomad Pro 2) Compared To A Wall-Mounted Device In Intraoral Radiography*. The British Institute of Radiology
- Rasad, Sjahriar. 2005. *Radiologi Diagnostik*. Jakarta: Balai Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
- Septina, Fariyah., dan Agnizarridlo, Tubagus. 2021. *Pemeriksaan Radiografi Intraoral pada Unit Pelayanan Radiodiagnostik*. Malang: UB Press.

- Sofiya, C. 2018. *Deterministic and Stochastic Effects of Radiation. Cancer Therapy dan Oncology International Journal*, Vol 12(2). DOI: 10.19080/CTOIJ.2018.12.555834
- Stratis, A., Zhang, G., Lopez-Rendon, X., dkk. 2017. *Two Examples Of Indication Specific Radiation Dose Calculations In Dental CBCT And Multidetector CT Scanners*. Phys. Med. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.03.027>
- Supriyono P., Candrawila, W., Rahim, A.H., dkk. *Keamanan Peralatan Radiasi Pengion Dikaitkan Dengan Perlindungan Hukum Bagi Tenaga Kesehatan Di Bidang Radiologi Diagnostik. SOEPRA Jurnal Hukum Kesehatan Vol. 3 No. 1 Th. 2017.*
- Swati, J., P. Basavaraj, P., Sowmya, A.R., dkk. 2013. *Portable Dental Radiographic Machines-A Systematic Review*. Journal of Orofacial and Health Sciences Vol.4 (2)
- Undang-Undang Ketenaganukliran. 1997
- Wahyudi, Kusdiana., Muji W., dan Dadong, I. 2019. *Analisis Dosis Radiasi Alam Radon Dan Sinar Gamma Di Rumah Penduduk Kalimantan Barat*. Jurnal Iptek Nuklir Ganendra. Vol 22, No 2 (63-72).
- Whaites, E., dan Drage, N. 2013. *Essentials of Dental Radiography and Radiology Edisi 5*. Elsevier. London.
- White, S. C., dan Mallya, S. M. 2012. *Update On The Biological Effects Of Ionizing Radiation Relative Dose Factors And Radiation Hygiene*. Australia Dental Journal, Vol 57:1; 2-8, doi: 10.1111/j.1834-7819.2011.01665.x
- White, S. C., dan Pharoah, M. J. 2014. *Oral Radiology : Principles and Interpretation*. Mosby : Elsevier
- Zubaidah, A., Yanti, L., Sofiati, P., dkk. 2012. *Respon Sitogenetik Penduduk Daerah Radiasi Alam Tinggi di Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia Vol 13, No 1 (13-26).

BIOGRAFI PENULIS



Fariyah Septina, drg., Sp. Rad O.M, Subsp. Rad. D (K)

Staf pengajar Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Brawijaya Malang. Jabatan saat ini adalah Kepala Departemen Radiologi Kedokteran Gigi FKG Universitas Brawijaya. Buku yang pernah ditulis antara lain : “Dasar-dasar Keselamatan Pasien pada Praktik Dokter Gigi” ; “ Mengenal Terapi Radiasi dan Kemoterapi bagi Dokter Gigi” ; Pemeriksaan Radiografi Intraoral pada Unit Pelayanan Radiodiagnostik” dan “ Fase-fase Gigi pada Buah Hati Kita” . Penulis dapat dihubungi melalui email: fariyahseptina@ub.ac.id



Fadhil Ulum A.Rahman, drg.,Sp.RKG

Staf pengajar Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin, juga sebagai dokter gigi spesialis radiologi kedokteran gigi di Rumah Sakit Gigi dan Mulut Pendidikan (RSGMP) Universitas Hasanuddin dan Rumah Sakit

Khusus Daerah Gigi dan Mulut (RSKDGM) Provinsi Sulawesi Selatan.
Penulis dapat dihubungi melalui email: fadhilululum@unhas.ac.id



Sandy Pamadya, drg., Sp.RKG., Subsp. Rad. D (K).

Staf pengajar sekaligus Kepala Departemen saat ini di Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Prof. Dr. Moestopo (Beragama) dan juga sebagai dokter gigi spesialis radiologi kedokteran gigi di Rumah Sakit Gigi dan Mulut (RSGM) Universitas Prof. Dr. Moestopo (Beragama). Penulis dapat dihubungi melalui email: sandypamadya@dsn.moestopo.ac.id



Merry Annisa Damayanti, drg., Sp.RKG

Staf pengajar Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran, juga sebagai dokter gigi spesialis radiologi kedokteran gigi di Rumah Sakit Gigi dan Mulut Pendidikan (RSGM) Universitas Padjadjaran. Penulis dapat dihubungi melalui email: merry.annisa@unpad.ac.id



Novi Kurniati, drg.,Sp.RKG

Staf Pengajar Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Prof. Dr. Moestopo (Beragama). Jabatan saat ini adalah Sekretaris Departemen Radiologi Kedokteran Gigi FKG Univ. Prof. Dr. Moestopo (Beragama) dan juga sebagai dokter gigi spesialis radiologi kedokteran gigi di Rumah Sakit Gigi dan Mulut (RSGM) Universitas Prof. Dr. Moestopo (Beragama). Penulis dapat dihubungi melalui email: drg.novi@dsn.moestopo.ac.id



Alongsyah Zulkarnaen Ramadhan, drg.,Sp.RKG

Staf pengajar Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi YARSI, juga sebagai dokter gigi spesialis radiologi kedokteran gigi di Rumah Sakit Gigi dan Mulut Pendidikan (RSGMP) Universitas YARSI dan Rumah Sakit Khusus Daerah Gigi dan Mulut. Penulis dapat dihubungi melalui email: alongsyah.sprkg@gmail.com



Efriza Nur Romadhoni, S.Tr. Kes (Rad)., M. Tr. ID

Staf Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Brawijaya (Radiografer) dan petugas proteksi radiasi di RSUI Madinah Malang. Penulis dapat dihubungi melalui email: efrizanur@gmail.com



Drg. Emy Khoironi, Sp RKG (K)

Staf Departemen Radiologi Kedokteran Gigi Universitas Hang Tuah Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email: emykaha@gmail.com