



Aliansi Fisikawan Medik Indonesia

REKOMENDASI AFISMI No. 1

Penggunaan Radiasi Pengion dalam Diagnosis dan Penanganan COVID-19

Kajian standar dan literatur ilmiah

Lukmanda Evan Lubis
Yekti Nastiti
Choirul Anam
Indah Lestariningsih
Muhammad Roslan A. Gani
Muharam Budi Laksono
Arif Fahmi
Josepa Simanjuntak

Mei 2020

No. Rekomendasi

1

Penggunaan Radiasi Pengion dalam Diagnosis dan Penanganan COVID-19: Kajian standar dan literatur ilmiah

Komite *ad hoc* Radiologi Diagnostik dan Intervensional 01 (RDI-01)

Bidang Ilmiah

Dewan Pengurus Pusat AFISMI

Pengarah	Agung Nugroho Oktavianto, S.T., M.Si. <i>Wakil Ketua AFISMI</i>
	Rusmanto, S.T., M.Si. <i>Anggota AFISMI</i>
Ketua	Lukmanda Evan Lubis, S.Si., M.Si., F.Med. <i>Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Depok 16424</i>
Sekretaris	Yekti Nastiti, S.Si., F.Med. <i>Departemen Radiologi, Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta 10430</i>
Anggota	Choirul Anam, S.Si., M.Si., Dr. <i>Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50275</i>
	Indah Lestariningsih, S.Si., M.Si. <i>Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Umum Daerah Cibinong, Bogor 16914</i>
	Muhammad Roslan Abdul Gani, S.Si., M.Si. <i>Instalasi Radiodiagnostik, Rumah Sakit Kanker "Dharmais", Jakarta 11420</i>
	Muharam Budi Laksono, S.Si., M.Si., F.Med. <i>Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Umum Daerah Majalengka, Majalengka 45411</i>
	Arif Fahmi, S.Si., M.Si. <i>Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Umum Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat, Mataram 84371</i>
	Josepa Simanjuntak, S.Si., M.Si. <i>Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Universitas Sumatera Utara, Medan 20154</i>

Diterbitkan oleh:
Aliansi Fisikawan Medik Indonesia (AFISMI)
Sekretariat: Lt. 4, Departemen Fisika, FMIPA Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424
sekretariat.afismi@gmail.com ■ <http://afismi.org>

©2020 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Pengantar

Bulan Maret 2020, World Health Organization (WHO) menyatakan penyakit COVID-19 yang disebabkan oleh virus baru, SARS-CoV-2 sebagai pandemi global. Indonesia adalah salah satu negara terdampak yang mengalami perubahan tatanan sosial, ekonomi, dan keseharian untuk melawan penyebaran penyakit ini. Bidang pelayanan kesehatan adalah bidang yang terdampak paling massif, tidak terkecuali bidang radiologi diagnostik yang praktiknya banyak mengalami penyesuaian terkait diagnosis dan pemantauan pasien dengan COVID-19. Perubahan dan penyesuaian ini turut mencakup penyinaran kelompok pasien dan masyarakat yang sebelumnya tidak lazim untuk dipapar, contohnya wanita hamil.

Sebagai organisasi profesi dan ilmiah bidang ilmu fisika medik, Aliansi Fisikawan Medik Indonesia (AFISMI) perlu bertanggungjawab dan memainkan peranannya sebaga garda terdepan keselamatan radiasi bangsa. Pada April 2020, AFISMI membentuk tim ad hoc yang disebut sebagai Komite ad hoc Radiologi Diagnostik dan Intervensional (RDI) 01 berdasarkan SK Ketua Umum no. 13/DPP-AFISMI/SK/IV/2020 untuk melakukan kajian dan melaporkan hasilnya sebagai bahan pertimbangan ilmiah bagi para stakeholder di bidang radiologi diagnostik. Hasil kajian ini kemudian berhasil disusun dan dilaporkan kepada Ketua sebagai Rekomendasi AFISMI no. 1.

Terbitnya rekomendasi perdana AFISMI ini, selain sebagai bentuk kontribusi ilmiah dari para fisikawan medik Indonesia di masa krisis pandemi, juga mengukuhkan posisi AFISMI sebagai komunitas saintis di bidang pemanfaatan radiasi di bidang kesehatan. AFISMI mempersembahkan rekomendasi ini, dengan harapan untuk turut memastikan bahwa masyarakat Indonesia menerima lebih banyak manfaat dari radiasi pengan di bidang medis dibanding risikonya; dimanapun dan kapanpun. Dengan demikian, anggota AFISMI dipercaya mampu untuk mengimplementasikan rekomendasi ini di lapangan.

AFISMI selalu membuka komunikasi untuk kritik dan saran guna perbaikan pada kualitas rekomendasi ilmiah di masa mendatang.

Depok, Mei 2020

Ketua Aliansi Fisikawan Medik Indonesia

Pengantar	4
Daftar isi	5
Abstrak	6
1. Pendahuluan	7
2. Dosis radiasi pada radiologi diagnostik	6
3. Efek biologis radiasi pengion	8
4. Keselamatan radiasi pada pencitraan thoraks	9
4.1 Dosis radiasi staf dan publik	9
4.2 Dosis radiasi pasien (Roentgen thoraks dan CT scan thoraks)	11
4.2.a. <i>Pasien umum dan pediatrik</i>	11
4.2.b. <i>Pasien hamil</i>	12
4.2.c. <i>Pengukuran/estimasi dosis pasien/fetus oleh fisikawan medik</i>	15
5. Rekomendasi untuk fisikawan medik	16
6. Kesimpulan	17
Referensi	17

Penggunaan Radiasi Pention dalam Diagnosis dan Penanganan COVID-19: Kajian standar dan literatur ilmiah

ABSTRAK

Pandemi COVID-19 telah mengubah protokol, tata-laksana, dan metode kerja di bidang radiologi dengan penyesuaian yang signifikan. Perubahan ini melingkupi perluasan cakupan penggunaan pesawat sinar-X, yang aspek keselamatannya menjadi bagian dari tanggungjawab fisikawan medik di fasilitas pelayanan kesehatan, menuju cakupan pelayanan yang sebelumnya tidak pernah dilaksanakan seperti penambahan ruangan khusus kasus COVID-19, dedikasi pesawat radiografi mobile di ruangan *intensive care unit (ICU)*/unit gawat darurat (IGD)/isolasi khusus COVID-19, dan penambahan permintaan CT scan thoraks untuk kelompok pasien yang sebelumnya tidak biasa dilaksanakan seperti pasien hamil. Praktik tambahan ini memerlukan tindakan khusus dari fisikawan medik yang didasarkan pada kajian dan literatur ilmiah demi memperluas cakupan tugasnya yang melingkupi prosedur-prosedur baru untuk menunjang tata laksana pandemi COVID-19. Rekomendasi dari Aliansi Fisikawan Medik Indonesia (AFISMI) ini bertujuan untuk memberikan informasi dan paparan ilmiah kepada fisikawan medik, radiografer, dokter spesialis radiologi, dan klinisi tentang konsep dosis radiasi dan prinsip keselamatan radiasi pasien, staf, dan anggota masyarakat (publik) sebagai bahan pertimbangan dalam melaksanakan tugas yang dinamis. Rekomendasi tambahan khusus untuk fisikawan medik yang bertugas juga termasuk dalam dokumen ini, yang bertujuan untuk mendukung peranan fisikawan medik dalam memastikan bahwa penggunaan radiasi pention secara umum harus lebih mendatangkan manfaat daripada risiko, bahkan dalam masa pandemi.

Kata kunci: CT scan, dosis radiasi, foto thoraks, keselamatan radiasi.

1. PENDAHULUAN

Coronavirus disease 2019 (COVID-19) yang disebabkan oleh *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2)* telah dinyatakan sebagai pandemi global oleh *World Health Organization (WHO)* sejak Maret 2020. Meskipun berbagai organisasi profesi kesehatan internasional seperti *American College of Radiology (ACR)* dan *Royal College of Radiology (RCR)* secara eksplisit tidak menganjurkan penggunaan *computed tomography (CT) scan* sebagai modalitas awal dalam rangkaian diagnosis COVID-19 dan hanya merekomendasikan jika dapat mengubah tata laksana^{1,2}, penggunaan CT scan untuk tujuan pemantauan terhadap pasien positif COVID-19 (berdasarkan uji *reverse-transcription polymerase chain reaction, RT-PCR*) maupun pasien dalam pengawasan (PDP) cenderung meningkat di lapangan. Selain CT scan thoraks, foto planar thoraks (Roentgen thoraks) juga digunakan secara aktif dalam tahap pemantauan pasien positif dan PDP.

Sesuai dengan prinsip proteksi radiasi, justifikasi menjadi pintu gerbang utama yang didasari pertimbangan etika dan manfaat klinis dari paparan radiasi. Justifikasi merupakan suatu analisa alasan dalam proses pengambilan keputusan mengenai dilaksanakan atau tidaknya prosedur pencitraan diagnostik, dengan mempertimbangkan keuntungan klinis maupun risiko yang akan didapatkan oleh pasien.³ Dalam kondisi pandemi yang saat ini berlangsung, selain terdapat faktor risiko akibat transmisi virus antar pasien, juga terdapat risiko efek radiasi yang perlu dipertimbangkan dalam proses justifikasi. Harus dipastikan bahwa semua prosedur yang telah dijustifikasi dilaksanakan dengan protokol dan parameter yang telah dioptimisasi agar tepat sesuai kebutuhan, sehingga dapat mencegah adanya *unnecessary exposure* (paparan radiasi yang tidak diperlukan dan tidak dibutuhkan). Rekomendasi ini bertujuan untuk membantu dalam memberikan pertimbangan kepada *stakeholder* terkait prosedur radiologi diagnostik (klinisi, radiolog, fisikawan medik, dan radiografer) agar memperhatikan aspek-aspek penting dalam pengambilan keputusan, yakni dosis radiasi yang diterima pasien, staf, dan masyarakat umum.

2. DOSIS RADIASI PADA RADIOLOGI DIAGNOSTIK

Dalam bidang radiologi diagnostik, dosis radiasi didefinisikan sebagai energi yang dideposisikan ke materi tertentu (dalam Joule) per massa dari materi tersebut (dalam kg).⁴⁻⁹ Dosis radiasi yang diterima pasien maupun staf hanya dapat diketahui secara akurat melalui pengukuran langsung dengan menggunakan dosimeter radiasi. Adapun metode lain seperti kalkulasi berdasarkan dosis keluaran pesawat sinar-X dan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak dapat membantu memperkirakan (estimasi) besaran dosis radiasi. Dengan banyaknya variasi jenis modalitas pesawat sinar-X dan

konfigurasinya, maka besaran Fisika yang digunakan untuk menyatakan dosis radiasi juga bervariasi. Pada radiografi umum (foto Roentgen), besaran yang digunakan adalah *kinetic energy released per unit mass* (KERMA) di udara atau di permukaan kulit pasien pada posisi arah datang berkas sinar-X, dengan satuan Gray (disingkat Gy). Besaran lain adalah *KERMA-area product* (KAP), yang merupakan integrasi dua dimensi dari KERMA pada luasan tegak lurus sumbu utama berkas sinar-X, dengan satuan Gy.m². Untuk pemeriksaan CT scan, besaran dosis radiasi yang digunakan adalah *volumetric computed tomography dose index* (CTDI_{vol}), *dose length product* (DLP), dan *size-specific dose estimate* (SSDE).⁸⁻¹² Nilai CTDI_{vol} dan DLP (dalam Gy dan Gy.cm, berturut-turut) tertera di monitor kendali pesawat CT scan sebagai representasi dosis keluaran (*radiation output*) pesawat CT scan. Sedangkan SSDE merupakan besaran yang memberikan informasi dosis yang diterima pasien yang bersesuaian dengan ukuran tubuh pasien.¹⁰⁻¹²

Semua besaran dosis radiasi pasien di radiologi diagnostik dapat dihubungkan dengan risiko radiasi apabila diekspresikan dalam terminologi dosis efektif, yakni nilai dosis radiasi yang telah dikalikan dengan faktor bobot jenis radiasi dan faktor bobot organ yang terpapar radiasi.^{7,13} Karena radiologi diagnostik hanya menggunakan jenis radiasi yang sama (foton) dan faktor bobot untuk jenis radiasi foton adalah 1 (satu), maka faktor bobot jenis radiasi dalam hal ini diabaikan. Dalam satuan Sv (Sievert), dosis efektif mengekspresikan besaran energi radiasi yang dideposisi ke dalam organ tubuh, dengan mempertimbangkan daya rusak jenis radiasi yang digunakan (sebagai faktor bobot jenis radiasi) dan sensitivitas organ terhadap radiasi (dalam faktor bobot organ). Risiko akibat dosis radiasi bersesuaian dengan dosis efektif radiasi, sehingga informasi dosis efektif ini sangat penting diketahui.

3. EFEK BIOLOGIS RADIASI PENGION

Radiasi pengion mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan materi dan dapat menyebabkan lesi molekuler dengan merusak rantai purin/pirimidin pada DNA dalam sel.¹⁴ Secara garis besar, efek radiasi pada manusia terbagi menjadi 2 (dua), yakni efek deterministik (*tissue reaction*) dan efek stokhastik. Efek deterministik mencakup efek biologis yang timbul setelah tubuh terpapar radiasi melampaui batas ambang dosis radiasi tertentu, seperti eritema kulit pada 2-3 Gy. Adapun efek stokhastik adalah efek yang memiliki probabilitas untuk muncul setelah adanya paparan radiasi tanpa batas ambang (contoh: induksi neoplasma/kanker).^{6,13} Merujuk pada definisi ini, maka **efek stokhastik selalu memiliki probabilitas untuk muncul pada semua nilai paparan radiasi, baik besar ataupun kecil sekalipun**. Merujuk kepada teori *linear non-threshold* (LNT), diketahui bahwa besarnya probabilitas terjadinya induksi neoplasma/kanker meningkat seiring dengan peningkatan

besarnya radiasi.¹³ Mekanisme dan prinsip patobiologis dari efek radiasi pengion dapat dipelajari lebih lanjut pada literatur^{14, 15}.

4. KESELAMATAN RADIASI PADA PENCITRAAN THORAKS

4.1. Dosis radiasi staf dan publik

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah menentukan batas maksimum dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi yaitu sebesar 20 mSv per tahun (atau sesuai pembatas dosis yang telah ditentukan oleh instansi, jika ada).¹⁶ Nilai ini dapat diketahui dari hasil bacaan dosimeter personal seperti *thermo luminescence dosimeter* (TLD) yang dikenakan selama bekerja dan bersifat akumulatif. Adapun staf yang tidak dilengkapi dengan dosimeter personal berarti tidak tergolong sebagai pekerja radiasi dan karenanya dianggap sebagai anggota publik dengan batas maksimum dosis radiasi 1 mSv per tahun.¹⁷

Dalam situasi pandemi COVID-19, sebagian fasilitas pelayanan kesehatan mendedikasikan pesawat radiografi *mobile* untuk akuisisi citra thoraks pasien COVID-19 dengan status positif, PDP, atau orang dalam pemantauan (ODP) baik di ruang isolasi, ruang ICU, ruang IGD maupun di ruangan tambahan yang dibuat khusus untuk penanganan pandemi. Ruangan darurat yang semula tidak disiapkan sebagai ruang penyinaran sinar-X umumnya tidak dilengkapi dengan perisai radiasi yang memadai (minimal 2 mm timbal dan ukuran ruangan 4 m × 3 m × 2,8 m sesuai Keputusan Menteri Kesehatan No. 1014/SK/Menkes/XI/2008, Peraturan Menteri Kesehatan No. 24 tahun 2016, dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 tahun 2011).¹⁷⁻¹⁹ Hal ini mengisyaratkan adanya potensi paparan melebihi nilai yang telah ditetapkan terhadap pekerja radiasi maupun tenaga medik/tenaga kesehatan lain di sekitar ruangan penyinaran. Ruangan darurat yang tidak dibuat dengan ukuran sesuai syarat regulasi juga berpotensi serupa.

Untuk mengantisipasi situasi tersebut, fisikawan medik dan/atau petugas proteksi radiasi (PPR) wajib melakukan evaluasi aspek keselamatan radiasi terhadap staf dan publik dengan memastikan bahwa tingkat paparan di titik-titik standar pengukuran keamanan dinding (30 cm dari dinding terluar ruangan penyinaran, 50 cm dari lantai ruangan di atas ruang penyinaran, dan 170 cm dari lantai ruangan di bawah ruang penyinaran) bernilai kurang dari paparan maksimum yang diizinkan. Jika tidak terdapat informasi hasil uji paparan sebelumnya, pengukuran harus dilakukan dengan *surveymeter* terkalibrasi, dengan menggunakan fantom/obyek dengan attenuasi ekuivalen tubuh manusia sebagai penghambur yang diposisikan sesuai dengan konfigurasi pada pasien dan faktor eksposi tertinggi yang dimungkinkan (dengan mempertimbangkan kondisi tabung sinar-X). Fisikawan medik dan/atau PPR harus memperhatikan

secara seksama satuan dan besaran fisika yang ditampilkan pada *surveymeter* dan melakukan koreksi/konversi ke nilai dalam regulasi (mSv/tahun) dengan asumsi waktu standar *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) Report no. 147, yakni 1 tahun = 50 pekan; 1 pekan = 5 hari kerja; dan 1 hari kerja = 8 jam kerja; sehingga 1 tahun = 2000 jam kerja.²⁰ Dalam kondisi penambahan waktu operasional pesawat (misal menjadi 24 jam dengan 7 hari kerja), maka asumsi waktu perlu disesuaikan dengan kegiatan lapangan.

Dalam hal pesawat sinar-X *mobile* dioperasikan untuk pasien terkait COVID-19 di ruang isolasi/ICU/ruang rawat lain yang dihuni lebih dari 1 (satu) pasien, maka hendaknya dipastikan bahwa jarak antar pasien sekurangnya 2 meter. Sebelum alat dioperasikan untuk penanganan COVID-19, fisikawan medik wajib memastikan bahwa peralatan sinar-X yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan regulasi, yakni lolos uji kesesuaian dan kalibrasi rutin. Fisikawan medik dan/atau PPR juga perlu memastikan keselamatan radiasi pasien yang berada di ruangan yang sama dengan pasien yang dipapar radiasi, sebab meskipun individu (atau individu-individu) tersebut berstatus sebagai pasien, saat paparan radiasi tidak ditujukan kepada individu tersebut dan tidak memberikan keuntungan diagnosis baginya, maka individu tersebut berstatus sebagai anggota publik dengan batas maksimum dosis radiasi 1 mSv/tahun. Sesuai regulasi BAPETEN dan persyaratan izin pesawat sinar-X, penggunaan pesawat sinar-X di luar area radiologi harus ditambah dengan penggunaan tabir tambahan (*mobile*) atau diberlakukan protokol/prosedur proteksi radiasi khusus bagi staf dan anggota publik di sekitar pesawat sinar-X tersebut.¹⁷

Fisikawan medik dan/atau PPR perlu memastikan besarnya nilai dosis radiasi hambur pada jarak 2 meter (menyamping, sesuai posisi pasien lain)²¹ melalui pengukuran langsung pada pesawat yang digunakan di ruangan tersebut menggunakan material penghambur dengan attenuasi ekuivalen tubuh manusia. Jika pengukuran langsung di lokasi penggunaan tidak dimungkinkan karena kemungkinan kontaminasi, maka pengukuran dapat dilakukan pada pesawat lain yang memiliki tipe/performa tabung sinar-X yang sebanding, sebagai estimasi besarnya dosis. Untuk mendukung tersedianya informasi yang lengkap tentang paparan radiasi hambur dan kebocoran tabung pesawat, maka fisikawan medik dapat mengestimasi nilai paparan radiasi hambur dengan memanfaatkan koreksi geometri (*inverse square law*, ISL) berdasarkan informasi yang ada. Untuk pemeriksaan foto thoraks perlu dipertimbangkan bahwa jika memungkinkan, penyinaran dapat dilakukan dengan tabung sinar-X diposisikan di luar ruangan isolasi (di balik kaca), dengan reseptor citra ditempatkan di dalam ruangan sehingga menurunkan kerumitan terkait dekontaminasi peralatan. Modifikasi faktor eksposi berupa tegangan dan arus tabung (menjadi lebih tinggi) yang digunakan akibat geometri penyinaran dengan jarak yang jauh perlu diperhatikan dalam evaluasi keselamatan radiasi akibat hamburan.²¹

Apabila dijumpai situasi dimana hasil pengukuran radiasi hambur melampaui nilai yang diregulasikan, direkomendasikan untuk menggunakan perisai radiasi tambahan (*mobile*) untuk staf dan publik. Dalam hal tidak tersedianya akses peralatan ukur hamburan radiasi yang dapat digunakan untuk mengukur nilai paparan radiasi hambur pada jarak 2 meter dari pasien, maka penggunaan perisai radiasi tambahan (*mobile*) menjadi suatu keharusan. Direkomendasikan untuk menggunakan 2 (dua) unit perisai radiasi tambahan (*mobile*) dengan ketebalan masing-masing 2 mm timbal yang diletakkan di sisi kanan dan kiri pasien pada saat penyinaran. Mengingat penggunaan CT scan tidak dimungkinkan untuk dilakukan di luar ruangan CT scan yang telah memenuhi syarat proteksi radiasi dan perizinan, tidak diperlukan upaya tambahan dari segi keselamatan radiasi staf dan publik terkait penggunaan CT scan selama pandemi.

4.2. Dosis radiasi pasien (Roentgen thoraks dan CT scan thoraks)

Pada prinsip utama proteksi radiasi, dosis radiasi pada pasien pada hakikatnya tidak dibatasi. Hal ini mengingat pasien adalah penerima keuntungan utama dari paparan radiasi, yakni berupa informasi diagnosis yang kemudian digunakan oleh klinisi untuk menentukan tata laksana perawatan.¹³ Namun, tetap diperlukan informasi dosis radiasi sebagai bahan pertimbangan dalam justifikasi permintaan prosedur radiologi bagi klinisi dan dokter spesialis radiologi. Setiap pemberian paparan radiasi kepada pasien harus terjustifikasi dan dilakukan dengan metode, protokol, dan parameter yang telah dioptimisasi agar tepat sesuai kebutuhan demi mencegah terjadinya *unnecessary exposure* (paparan radiasi yang tidak diperlukan dan tidak dibutuhkan).

4.2.a. Pasien umum dan pediatrik

Dosis radiasi yang umum digunakan untuk mendapatkan citra radiografi thoraks dan CT scan thoraks untuk pasien dewasa dan pediatrik dapat dilihat pada Tabel 1. Data pada tabel tersebut merupakan kompilasi dari berbagai literatur, yakni data *diagnostic reference level* (DRL) dari Britania Raya²², data survey dari 40 negara di Asia oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA)²³, dan hasil survey nasional Si-Intan BAPETEN.^{24,25} Sebagai pembanding, kompilasi efek radiasi terhadap organ dapat dilihat pada Tabel 2 yang merujuk kepada publikasi dari *International Commission on Radiological Protection* (ICRP).²⁶ Dalam pengambilan pertimbangan justifikasi secara umum, data referensi pada Tabel 1 dapat digunakan untuk memperkirakan risiko pada Tabel 2, kecuali fasilitas pelayanan kesehatan tersebut telah memiliki nilai panduan diagnostik (*diagnostic reference level*, DRL) yang dapat digunakan dalam proses justifikasi tingkat institusi, yakni memutuskan apakah suatu prosedur perlu dilakukan atau tidak secara umum. Meski demikian, perlu

diperhatikan bahwa DRL memiliki fungsi utama sebagai acuan optimisasi dan tidak dapat digunakan untuk memutuskan justifikasi secara individual (per pasien).²⁷

Pada kasus pasien pediatrik, perlu diperhatikan bahwa usia yang lebih muda berarti sensitivitas lebih tinggi terhadap radiasi akibat tingkat proliferasi sel yang tinggi.¹⁴ Pasien pediatrik juga diketahui 2-3 kali lebih rentan terkena induksi kanker akibat radiasi pengion²⁸, sehingga justifikasi untuk pencitraan diagnostik pasien pediatrik harus betul-betul kuat.

4.2.b. Pasien hamil

Paparan radiasi bagi pasien hamil memerlukan perhatian khusus, sebab janin memiliki sensitivitas radiasi yang lebih tinggi ketimbang pasien dewasa dan pediatrik. Secara praktis, pasien (ibu hamil) sebagai penerima keuntungan langsung dari paparan radiasi tidak dikenai batas dosis radiasi. Namun demikian, janin adalah individu terpisah yang tidak menerima manfaat langsung dari radiasi, dosis radiasi yang diterima janin juga tidak dibatasi.²⁹ Perlu diperhatikan bahwa kondisi ini berlaku apabila pesawat sinar-X yang digunakan dalam kondisi layak beroperasi sesuai hasil uji kesesuaian.

IAEA dalam laman *Radiation Protection of Patients* (RPOP) menyatakan bahwa pencitraan diagnostik untuk organ/bagian tubuh yang jauh posisinya dari fetus (termasuk thoraks) dapat dilakukan pada periode gestasi selama peralatan dalam kondisi prima.³⁰ Lebih jauh, NCRP dalam Report No. 174 mengindikasikan bahwa prosedur CT thoraks pada pasien hamil memberikan dosis radiasi 0,1 mGy hingga 1 mGy kepada embrio/fetus³¹⁻³⁴, sedangkan prosedur Roentgen dada memberikan dosis <0,01 mGy kepada embrio/fetus.^{29,31,33,35}

Paparan radiasi akibat prosedur radiologi di bagian thoraks pada pasien hamil memang tidak menunjukkan tendensi untuk memberikan dosis radiasi yang tinggi terhadap janin, namun probabilitas efek samping terkait radiasi pada perkembangan janin perlu selalu pertimbangan dalam tahap justifikasi. Tabel 3 menunjukkan risiko biologis yang kemungkinan dapat dialami janin akibat paparan radiasi pengion. Informasi ini didasarkan oleh penelitian menggunakan data penyintas bom atom di Hiroshima dan Nagasaki tahun 1945, dimana terdapat sekitar 2800 wanita hamil yang terpapar radiasi dengan 500 diantaranya menerima dosis di fetus melebihi 10 mGy.³⁶ Mengingat **efek stokhastik tidak memiliki dosis ambang dan mungkin terjadi pada paparan radiasi pengion serendah apapun**, maka induksi kanker tidak dimasukkan dalam daftar risiko embrio/fetus di Tabel 3.

Tabel 1. Dosis ekuivalen tipikal pada pencitraan thoraks dewasa dan pediatrik. Mengingat radiasi pengion yang digunakan adalah foton dengan faktor bobot 1, maka dalam hal ini dosis 1 Gy = dosis ekuivalen 1 Sv.

Literatur dosis radiasi pasien	Foto Roentgen Thoraks		CT Scan Thoraks	
	ESD (mGy)	KAP (Gy.cm ²)	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy.cm)
Dewasa				
NDRL (UK) ²²	0,2 (AP)	0,15 (AP)	12	610
	0,15 (PA)	0,1 (PA)		
	0,5 (Lat)	-		
Si-Intan (BAPETEN) ^{24,25}	0,2 (AP)	-	14	600
	0,4 (PA)			
	0,2 (Lat)			
Pediatrik				
Vassileva et al. ³⁷				
0-1 th	-	-	5,2	130
1-5 th	-	-	6	140
5-10 th	-	-	6,8	170
10-15 th	-	-	7,3	300
Si-Intan (BAPETEN) ^{24,25}				
0-4 th	0,09	-	3,8	153
	(AP/PA)			
5-14 th	0,2 (AP)	-	8,1	503
	0,1 (PA)			
	0,3 (Lat)			

Tabel 2. Efek radiasi pengion terhadap organ beserta ambang dosis efektif dan waktu tunda terjadinya manifestasi klinis, yang dikompilasi dari ICRP Publication 118.²⁶

Manifestasi klinis	Dosis ambang pada organ (mGy)	Waktu tunda
Depresi hematopoiesis	500	3-7 hari
Gangguan jantung	500	Jangka panjang
Stroke	500	Jangka panjang
Pneumonitis	6500	3-6 bulan
Gagal ginjal	7000	-
Eritema kulit	3000-6000	-
Kulit terbakar	5000-10.000	-
Katarak	500	Jangka panjang
Kemandulan sementara	100	3-9 minggu
Kemandulan permanen	6000 (testis)	3 minggu (testis)
	3000 (ovarium)	<1 minggu (ovarium)

Tabel 3. Efek non-induksi kanker dari radiasi pengion terhadap embrio/fetus, yang dikompilasi dari ICRP Publication 174²⁹ dan data penyintas bom atom Hiroshima-Nagasaki.³⁶

Dosis radiasi akut ^{*)} pada embrio/fetus	Usia kehamilan (post-konsepsi)				
	s.d. 2 minggu	Minggu ke 3-5	Minggu ke 6-13	Minggu ke 14-23	>24 minggu
<100 mGy	Tidak ada efek non-kanker yang terdeteksi				
100-500 mGy	Kemungkinan gagal implantasi meningkat sedikit, namun embrio yang <i>survive</i> kemungkinan tidak akan mengalami gangguan Kesehatan non-kanker yang signifikan	Kemungkinan pertumbuhan terhambat	Kemungkinan pertumbuhan terhambat	Kemungkinan gangguan Kesehatan non-kanker sangat kecil	
>500 mGy	Kemungkinan gagal implantasi tinggi (bergantung dosis radiasi), namun embrio yang <i>survive</i> kemungkinan tidak akan mengalami gangguan Kesehatan non-kanker yang signifikan.	Kemungkinan keguguran akan meningkat, bergantung pada dosis radiasi. Kemungkinan akan meningkat akan terjadinya malformasi mayor (defisiensi neurologi dan motorik). Dimungkinkan terjadi hambatan pertumbuhan.	Kemungkinan keguguran akan meningkat, bergantung pada dosis radiasi. Dimungkinkan terjadi hambatan pertumbuhan.	Kemungkinan keguguran akan meningkat, bergantung pada dosis radiasi. Dimungkinkan terjadi hambatan pertumbuhan, dengan probabilitas yang lebih rendah dari usia kehamilan 6-13 minggu. Kemungkinan akan meningkat akan terjadinya malformasi mayor meningkat.	Keguguran dan kematian neonatal ^{**)} mungkin terjadi, bergantung dosis radiasi.
Usia kehamilan 8-25 minggu:					
<ul style="list-style-type: none"> - Pada kasus embrio/fetus terpapar radiasi pengion secara akut^{*)}, periode kehamilan yang paling rentan terhadap disabilitas intelektual adalah minggu ke 8-15, dengan dosis radiasi yang dapat menyebabkan disabilitas intelektual parah adalah pada dosis > 500 mGy. - Prevalensi disabilitas intelektual (IQ<70) mencapai 40% setelah fetus terpapar dosis radiasi 1000 mGy di usia kehamilan 8-15 minggu. - Prevalensi disabilitas intelektual (IQ<70) mencapai 15% setelah fetus terpapar dosis radiasi 1000 mGy di usia kehamilan 16-25 minggu. 					

Catatan:

^{*)} Dosis radiasi akut adalah dosis radiasi yang diterima akibat paparan dalam durasi singkat (hitungan menit). Jika dosis radiasi diterima secara fraksinasi (atau kronis), efek radiasi akan berbeda.

^{**)} Pada manusia dewasa, dosis akut letal LD 50/60 (yakni dosis radiasi yang diperlukan untuk menyebabkan kematian pada 50% populasi yang terpapar dalam 60 hari) adalah sebesar 3000-5000 mGy. Sedangkan dosis akut letal LD100 (yakni dosis radiasi yang diperlukan untuk menyebabkan kematian pada 100% populasi yang terpapar) adalah sebesar 10.000 mGy.

Meskipun penggunaan perisai timbal (apron) untuk menutupi abdomen pasien hamil saat penyinaran tidak lagi direkomendasikan oleh AAPM, ACR, *Health Physics Society (HPS)*, *Australasian College of Physical Scientists and Engineers in Medicine (ACPSEM)*, *Canadian Association of Radiologists (CAR)*, *Canadian Organization of Medical Physicists (COMP)*, dan *Radiological Society of North America (RSNA)*³⁸ karena sejumlah alasan ilmiah³⁹⁻⁴³, AFISMI merekomendasikan untuk mengutamakan keselamatan dan kenyamanan pasien. Jika penghentian penggunaan apron oleh pasien dirasa menimbulkan dampak sosiokultural berupa berkurangnya rasa aman dari perspektif pasien/keluarga pasien, maka praktik penggunaan apron di bagian abdomen pasien hamil dapat dilanjutkan hingga ada regulasi/himbauan dari otoritas negara (BAPETEN atau Kementerian Kesehatan) yang merekomendasikan sebaliknya.

4.2.c. Pengukuran/estimasi dosis pasien/fetus oleh fisikawan medik

Fisikawan medik yang memiliki akses ke dosimeter terkalibrasi dan/atau perangkat lunak estimasi dosis berbasis simulasi Monte-Carlo (contoh: PCXMC⁴⁴ untuk radiografi, ImpaCT⁴⁵ untuk CT scan, atau CODE⁴⁶ untuk radiografi) dapat melakukan estimasi dosis yang diterima organ tubuh pasien, termasuk embrio/fetus. Namun, mengingat rekomendasi ini difokuskan pada penanganan COVID-19, maka metode yang menjadi perhatian adalah estimasi dan pengukuran dosis pada pemeriksaan thoraks (radiografi/foto Roentgen ataupun CT scan). Secara umum, metodologi pengukuran dan estimasi dosis radiasi pasien radiologi diagnostik mengikuti standar internasional yakni IAEA Technical Report Series No. 457⁹, ICRU Report No. 74⁸, dan IAEA Human Health Series No. 24⁴⁷ (untuk pasien pediatrik) tidak terkecuali untuk pasien terkait COVID-19. Namun, kasus pemeriksaan radiografi dan CT scan untuk pasien hamil perlu menjadi perhatian khusus.

Pada kasus radiografi (foto Roentgen) thoraks, lapangan radiasi berada jauh dari posisi fetus sehingga fetus hanya mendapatkan radiasi hambur dengan nilai dosis sekitar 10 μ Gy (lebih rendah jika dibandingkan dengan foto abdomen/pelvis yakni sekitar 10 mGy).³⁶ Jika fisikawan medik memutuskan untuk melakukan estimasi, maka nilai dosis fetus dapat diestimasi sebagai 0,15 kali dosis serap di permukaan kulit abdomen pasien hamil (sebagai *rule of thumb*).⁴⁸ Adapun nilai dosis serap di permukaan kulit abdomen pasien hamil dapat diukur langsung dengan menggunakan dosimeter pasif (TLD/OSL/film *radiochromic* terkalibrasi) atau merupakan hasil koreksi jarak (ISL) terhadap nilai ESD atau KERMA udara di sumbu utama berkas, yang dapat diketahui dari pengukuran langsung atau kalkulasi berbasis data keluaran (*output*) pesawat seperti direkomendasikan oleh BAPETEN.^{49,50}

Untuk kasus pemeriksaan CT scan thoraks pada pasien hamil dengan radiasi primer tidak mengenai janin, dosis yang diterima janin dilaporkan sekitar 0,03 mGy pada 120 kVp, 200 mAs, kolimasi 10 mm (diestimasi menggunakan

ImpaCT). Nilai ini lebih rendah daripada pemeriksaan CT scan abdomen/pelvis, dengan dosis fetus yang dilaporkan sebesar 28 mGy dengan penggunaan parameter eksposi yang sama.⁴⁸

5. REKOMENDASI UNTUK FISIKAWAN MEDIK

Rekomendasi berikut dikhususkan untuk fisikawan medik yang bekerja di fasilitas pelayanan kesehatan untuk memastikan keamanan dan keselamatan pasien dan rekan sejawat/sesama tenaga kesehatan dalam menghadapi situasi pandemi COVID-19. AFISMI merekomendasikan fisikawan medik untuk;

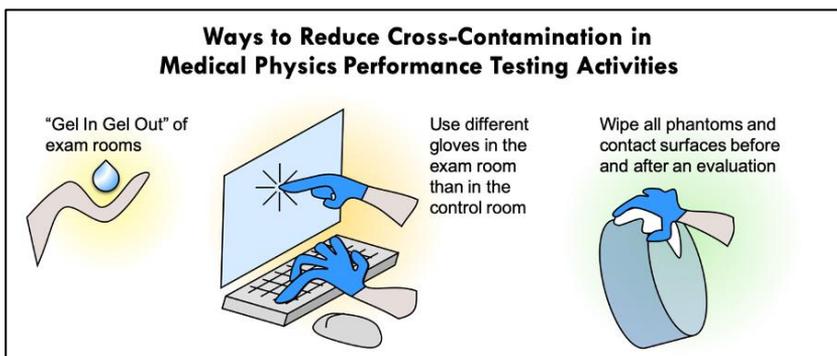
1. Mengikuti seluruh protokol dan rekomendasi terkait penanganan dan pencegahan penularan COVID-19 yang diterapkan oleh institusi tempat bekerja, pemerintah lokal/daerah, dan pemerintah pusat melalui Kementerian/Lembaga Pemerintah Non-Kementerian terkait.
2. Memastikan bahwa seluruh pemeriksaan foto thoraks dan/atau CT scan kepada pasien harus terjustifikasi dan dilaksanakan dengan metode, protokol, dan parameter yang telah dioptimisasi demi mencegah paparan radiasi yang tidak diperlukan/dibutuhkan (*unnecessary exposure*).
3. Menunda atau menjadwalkan ulang rencana pelaksanaan penjaminan kualitas internal (kendali mutu) oleh fisikawan medik sendiri maupun eksternal (uji kesesuaian) oleh pihak ketiga untuk pesawat sinar-X yang digunakan melayani pasien terkait COVID-19 (positif, PDP, ODP, *suspect*) untuk mengurangi paparan dan mencegah penularan ke fisikawan medik dan petugas pelaksana uji dari pihak ketiga.
4. Terkait pelaksanaan uji kesesuaian yang merupakan syarat perizinan, fisikawan medik perlu mengacu kepada isi surat edaran Kepala BAPETEN no. 0842/K/IV/2020 Tentang Kebijakan Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pention Pada Masa Bencana Nasional Corona Virus Disease 2019 (Covid-19).

Jika dalam kondisi sangat terpaksa fisikawan medik harus melaksanakan kendali mutu internal (pengukuran dosis, kualitas citra, uji mekanik, dan/atau keselamatan radiasi) pada pesawat sinar-X yang digunakan untuk melayani pasien terkait COVID-19, maka fisikawan medik harus;

1. Mengenakan alat pelindung diri (APD) sesuai standar yang berlaku di institusi saat melaksanakan uji.
2. Memastikan untuk selalu mencuci tangan sesuai standar Kementerian Kesehatan RI sebelum dan sesudah memasuki ruangan serta sebelum dan sesudah menyentuh peralatan QC dan pesawat sinar-X, terutama reseptor citra dan meja pasien.
3. Melakukan desinfeksi pada permukaan alat ukur dan fantom sebelum dan sesudah kontak dengan pesawat sinar-X. Desinfeksi juga diperlukan pada *keyboard* dan layar komputer *console* dan laptop yang digunakan selama pengukuran. Diperlukan konsultasi dengan pihak manufaktur peralatan

mengenai bahan/metode desinfeksi yang direkomendasikan untuk setiap alat ukur/fantom. Diperlukan kehati-hatian ekstra untuk proses desinfeksi layar komputer dan permukaan reseptor citra, mengingat sebagian jenis bahan *sanitizer* dapat merusak permukaan layar komputer LCD/CRT dan *grid*/reseptor citra film/CR/FPD. Gambar 1 menunjukkan rekomendasi dari *American Association of Physicists in Medicine (AAPM)* mengenai cara pencegahan penularan COVID-19 untuk kalangan fisikawan medik di Amerika Serikat.⁵¹

Fisikawan medik sangat direkomendasikan untuk berperan aktif dalam mengikuti perkembangan keilmuan bidang radiologi, fisika kesehatan, proteksi radiasi, dan bidang terkait lainnya yang mengalami perubahan pesat dan mengambil peranan dalam penanganan pandemi COVID-19.



Gambar 1. Cara yang direkomendasikan AAPM untuk tujuan pencegahan penularan COVID-19 untuk kalangan fisikawan medik.⁵¹

6. KESIMPULAN

Aliansi Fisikawan Medik Indonesia (AFISMI) merekomendasikan bahwa penggunaan radiasi pengion dalam diagnosis dan penanganan COVID-19 harus senantiasa memperhatikan kaidah keselamatan radiasi. Fisikawan medik harus memastikan bahwa penggunaan radiasi pengion lebih mendatangkan manfaat daripada risiko dari aspek dosis radiasi kepada pasien, staf, dan anggota masyarakat (publik).

REFERENSI

1. American College of Radiology. ACR Recommendations for the use of Chest Radiography and Computed Tomography (CT) for Suspected COVID-19 Infection. (2020). Available at: <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography->

- and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection. (Accessed: 25th April 2020)
2. Royal College of Radiology. RCR position on the role of CT in patients suspected with COVID-19 infection. (2020). Available at: <https://www.rcr.ac.uk/college/coronavirus-covid-19-what-rcr-doing/clinical-information/rcr-position-role-ct-patients>. (Accessed: 25th April 2020)
 3. Parakh, A., Kortensniemi, M. & Schindera, S. T. CT Radiation Dose Management: A Comprehensive Optimization Process for Improving Patient Safety. *Radiology* **280**, 663–673 (2016).
 4. Johns, H. E. & Cunningham, J. R. *The Physics of Radiology*. (Charles C. Thomas, 1983).
 5. Attix, F. H. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. (Wiley, 1986). doi:10.1002/9783527617135
 6. International Atomic Energy Agency. *IAEA Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. (IAEA, 2014).
 7. Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M. & Boone, J. M. *The Essential Physics of Medical Imaging*. (2011).
 8. The International Commission on Radiation Unit and Measurement. *ICRU Report 74: Patient Dosimetry for X Rays Used in Medical Imaging*. *Journal of the ICRU* **5**, (Oxford University Press, 2005).
 9. International Atomic Energy Agency. *IAEA Technical Report Series No. 457: Dosimetry in Diagnostic Radiology: an International Code of Practice*. (International Atomic Energy Agency, 2007).
 10. American Association of Physicists in Medicine. *AAPM Report No. 204: Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations*. (2011).
 11. American Association of Physicists in Medicine. *AAPM Report No. 220: Use of Water Equivalent Diameter for Calculating Patient Size and Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in CT*. (2014).
 12. American Association of Physicists in Medicine. *AAPM Report No. 293: Size Specific Dose Estimate (SSDE) for Head CT*. (2019).
 13. Martin, C. J. & Sutton, D. G. *Practical Radiation Protection in Healthcare*. **1**, (Oxford University Press, 2015).
 14. Hall, E. J. & Giaccia, A. J. *Radiobiology for the Radiologist*. (Wolters Kluwer Health, 2018).
 15. Dörr, W. Radiobiology of tissue reactions. *Ann. ICRP* **44**, 58–68 (2015).
 16. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. *Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013*. (2013).
 17. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. *Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011*. (2011).
 18. Kementerian Kesehatan RI. *Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1040/SK/Menkes/XI/2008 tentang Standar Pelayanan Radiologi Diagnostik*. (2008).
 19. Kementerian Kesehatan RI. *Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 24 tahun 2016*

- tentang Persyaratan Teknis Bangunan dan Prasarana Rumah Sakit.* (2016).
20. National Council on Radiation Protection and Measurements. *Report No. 147 - Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities.* (National Council on Radiation Protection and Measurement, 2004).
 21. Brady, Z. Time, Shielding and Extra Distance. (2020). Available at: <https://www.iomp.org/iomp-news-vol2-no2-time-shielding-and-extra-distance/>. (Accessed: 25th April 2020)
 22. Public Health England. National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) from 19 August 2019. (2019). Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/ndrl>. (Accessed: 25th April 2020)
 23. Vassileva, J. *et al.* IAEA survey of paediatric computed tomography practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America and Africa: procedures and protocols. *Eur. Radiol.* **23**, 623–631 (2013).
 24. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Indonesian Diagnostic Reference Level for CT Scan. (2019). Available at: <https://idrl.bapeten.go.id/index.php/site/ctscan/2019>.
 25. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Indonesian Diagnostic Reference Level for General Radiography. (2019). Available at: https://idrl.bapeten.go.id/index.php/site/general_radiography/2019.
 26. Stewart, F. A. *et al.* ICRP Publication 118: ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs — Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. *Ann. ICRP* **41**, 1–322 (2012).
 27. Vañó, E. *et al.* ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Ann. ICRP* **46**, 1–144 (2017).
 28. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR VII Phase 2).* (National Academy Press, 2006).
 29. National Council on Radiation Protection and Measurements. *Report No. 174 - Preconception and prenatal radiation exposure: health effects and protective guidance.* (National Council on Radiation Protection and Measurement, 2013).
 30. International Atomic Energy Agency. Radiation protection of pregnant women in radiology. Available at: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/radiology/pregnant-women>. (Accessed: 25th April 2020)
 31. Helmrot, E., Pettersson, H., Sandborg, M. & Altén, J. N. Estimation of dose to the unborn child at diagnostic X-ray examinations based on data registered in RIS/PACS. *Eur. Radiol.* **17**, 205–209 (2007).
 32. Hurwitz, L. M. *et al.* Radiation Dose to the Fetus from Body MDCT During Early Gestation. *Am. J. Roentgenol.* **186**, 871–876 (2006).
 33. McCollough, C. H. *et al.* Radiation Exposure and Pregnancy: When Should We Be Concerned? *RadioGraphics* **27**, 909–917 (2007).
 34. Wall, B. F., Meara, J. R., Muirhead, C. R., Bury, R. F. & Murray, M. *Protection of*

- Pregnant Patients During Diagnostic Medical Exposures to Ionizing Radiation: Advice from the Health Protection Agency.* (Health Protection Agency, 2009).
35. UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes.* (United Nations Publications, 2000).
 36. Wagner, L. K., Lester, R. G. & Saldana, L. R. *Exposure of the pregnant patient to diagnostic radiations: a guide to medical management.* (Lippincott Williams & Wilkins, 1985).
 37. Vassileva, J. et al. IAEA Survey of Pediatric CT Practice in 40 Countries in Asia, Europe, Latin America, and Africa: Part 1, Frequency and Appropriateness. *Am. J. Roentgenol.* **198**, 1021–1031 (2012).
 38. American Association of Physicists in Medicine. AAPM Position Statement on the Use of Patient Gonadal and Fetal Shielding. (2019). Available at: <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=468&type=PP¤t=true>. (Accessed: 26th April 2020)
 39. ACR-SPR Practice Parameter for Imaging Pregnant or Potentially Pregnant Adolescents and Women with Ionizing Radiation, Resolution 39. (2018).
 40. Marsh, R. M. & Silosky, M. Patient Shielding in Diagnostic Imaging: Discontinuing a Legacy Practice. *Am. J. Roentgenol.* **212**, 755–757 (2019).
 41. Yu, L., Bruesewitz, M. R., Vrieze, T. J. & McCollough, C. H. Lead Shielding in Pediatric Chest CT: Effect of Apron Placement Outside the Scan Volume on Radiation Dose Reduction. *Am. J. Roentgenol.* **212**, 151–156 (2018).
 42. Strauss, K. J., Gingold, E. L. & Frush, D. P. Reconsidering the Value of Gonadal Shielding During Abdominal/Pelvic Radiography. *J. Am. Coll. Radiol.* **14**, 1635–1636 (2017).
 43. Committee Opinion No. 723: Guidelines for Diagnostic Imaging During Pregnancy and Lactation. *Obstet. Gynecol.* **130**, (2017).
 44. STUK. PCXMC - A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Available at: <https://www.stuk.fi/palvelut/pcxmc-a-monte-carlo-program-for-calculating-patient-doses-in-medical-x-ray-examinations>. (Accessed: 26th April 2020)
 45. ImpaCT. ImpaCT dosimetry software for CT. Available at: <http://www.impactscan.org/ctdosimetry.htm>. (Accessed: 26th April 2020)
 46. Damilakis, J. CONceptus Dose Estimation (CODE). Available at: <http://embryodose.med.uoc.gr/code/index.php>. (Accessed: 26th April 2020)
 47. International Atomic Energy Agency. *IAEA Human Health Series No. 24: Dosimetry in Diagnostic Radiology for Paediatric Patients.* (International Atomic Energy Agency, 2013).
 48. Mahesh, M. Dosimetry in Pregnant Patients undergoing CT and Fluoroscopy. (2011). Available at: <https://www.aapm.org/meetings/amos2/pdf/59-17311-56148-931.pdf>. (Accessed: 26th April 2020)
 49. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. *Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Diagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL) Nasional.* (Badan Pengawas

Tenaga Nuklir, 2019).

50. Rusmanto & Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Perkiraan dosis pasien pada pemeriksaan dengan sinar-x radiografi umum. Available at: https://idrl.bapeten.go.id/assets/upload/PERKIRAAN_DOSIS_PASIEN_PADA_PEMERIKSAAN_DENGAN_SINAR_X_RADIOGRAFI.pdf.
51. American Association of Physicists in Medicine. AAPM COVID-19 Information for Medical Physicists. (2020). Available at: <https://www.aapm.org/COVID19/>. (Accessed: 25th April 2020)