






Paradigma baru konsep proteksi radiasi di bidang radiologi kedokteran gigi: ALARA menjadi ALADAIP

Fadhilil Ulum Abdul Rahman^{1*}, Aga Satria Nurrachman¹ ,
Eha Renwi Astuti² , Lusi Epsilawati³ , Azhari³

ABSTRACT

Objectives: This article is aimed to widely share information and discuss further about the emerging transformation theories of the traditional radiation protection concept of ALARA into some more modern proposed concepts, particularly in dentomaxillofacial radiology.

Literature Review: The concept of radiation protection in the use of X-ray modalities in the medical field has developed along with the development of science over past decades. The concept of ALARA which has been widely known for a long time and is used as a basic of theory or main

reference in radiation protection policies in several countries or at the international level now becomes a traditional, conservative and invalid principle to apply. There are several emerging theories which are considered to be more valid and representative to replace the ALARA principle.

Conclusion: Newer concepts of radiation protection that have developed, ALADAIP, are considered to be more precise and specific to be the main principle of radiation protection at this time, especially in the field of dentomaxillofacial radiology.

Keywords: protection radiation concept, ALARA, ALADA, ALADAIP

Cite this article: Pramatika B, Nurrachman AS, Astuti ER, Epsilawati L, Azhari. Paradigma baru konsep proteksi radiasi di bidang radiologi: ALARA menjadi ALADAIP. Jurnal Radiologi Dentomaksilofasial Indonesia 2020;4(2)27-34. <https://doi.org/10.32793/jrdi.v4i2.555>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0

PENDAHULUAN

Teknologi pencitraan dengan menggunakan teknik radiografi telah menjadi metode diagnostik yang paling sering digunakan dalam berbagai bidang medis dan berkontribusi pada peningkatan pelayanan kesehatan di seluruh dunia.¹ Di bidang kedokteran gigi pemeriksaan radiologi berperan sangat penting sebagai penunjang utama dalam penegakan diagnosis dan rencana perawatan untuk berbagai abnormalitas dan kondisi patologis di area oromaksilofasial.² Pemanfaatan pemeriksaan radiologi kedokteran gigi terus mengalami peningkatan seiring dengan berbagai perkembangan teknologi pencitraan seperti *digital radiography* dan *cone-beam computed tomography* (CBCT) yang secara umum dapat memberikan hasil lebih baik dan lebih praktis serta bernilai diagnosis tinggi dengan dosis paparan radiasi yang relatif lebih rendah.^{3,4} Menurut *European Comission* pada tahun 2015, prosedur pemeriksaan radiologi kedokteran gigi mencakup 1/3 dari seluruh jenis pemeriksaan dengan menggunakan sinar-X di bidang medis.⁵

Pemanfaatan sinar-X dalam bidang radiologi memungkinkan terwujudnya gambaran anatomi serta patologi tubuh yang tidak dapat dijangkau secara klinis. Pemeriksaan radiologi kedokteran gigi hampir sebagian besar menggunakan sinar-X yang

merupakan salah satu radiasi pengion dengan potensi efek biologis merugikan bagi manusia. Sejumlah paparan radiasi pengion pada pemeriksaan radiologi kedokteran gigi untuk keperluan diagnostik dan rencana perawatan sesuai indikasi tertentu tidak dapat dihindari untuk diberikan kepada pasien dan populasi sekitarnya. Teknik radiografi intraoral, ekstraoral, panoramik, dan CBCT memiliki jumlah dosis efektif yang berbeda besarnya. Oleh karena itu, besaran dosis radiasi menjadi catatan penting dalam setiap pemeriksaan radiografi karena adanya efek negatif dari radiasi pengion pada manusia yang bergatung pada durasi dan dosis radiasi.⁶ Radiasi dapat menginduksi kematian sel hingga merusak fungsi jaringan dan organ. Efek ini dapat diamati secara klinis jika dosis paparan radasi melebihi nilai ambang batas tertentu dan disebut dengan istilah *tissue reaction* atau yang sebelumnya dikenal dengan efek deterministik. Selain itu, radiasi juga dapat menyebabkan efek stokastik yang merupakan akibat dari transformasi sel non-lethal dan masih dapat mempertahankan kapasitas reproduksinya namun terdapat potensi mutasi gen sehingga dapat menginduksi kanker dalam periode latensi tertentu.^{1,7} Aplikasi proteksi radiasi yang tepat menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan

¹PPDGS Radiologi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia 40132

²Departemen Radiologi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia, 60132

³Departemen Radiologi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia 40132

*Correspondence to:
Fadhilil Ulum Abdul Rahman
✉ fadhilil18001@mail.unpad.ac.id

Received on: June 2020
Revised on: July 2020
Accepted on: August 2020

dalam setiap pemeriksaan radiologis mengingat efek negatif potensial dari radiasi pengion sinar-x tersebut.^{8,9}

Prinsip proteksi radiasi pada pemeriksaan radiologis memiliki aspek yang unik dibandingkan penggunaan paparan radiasi lainnya di mana keputusan untuk memberikan paparan radiasi untuk kebutuhan medis bergantung pada kebijaksanaan klinisi dengan mendasarkan pada penilaian profesional dan bertanggung jawab disertai dengan persetujuan pasien yang mencakup tidak hanya manfaat pemeriksaan tersebut tetapi juga adanya risiko potensial yang dapat terjadi.¹ Konsep ALARA (*As Low as Reasonably Achievable*) selama ini telah dikenal secara luas sebagai bagian dari prinsip utama dalam proteksi radiasi. Berbagai modalitas radiografi, khususnya di bidang radiologi kedokteran gigi, seperti CBCT 3D (*Cone-Beam Computed Tomography*) telah dikembangkan oleh pabrikan dengan radiasi yang semakin minimal namun tetap dapat memberikan hasil yang maksimal yang dapat diterima secara diagnostik, sejalan dengan konsep ALARA, melalui penggantian jenis sensor, fitur pilihan *field of view* dan tingkat resolusi, mode pilihan anak-anak atau dewasa hingga modifikasi putaran pusat radiasi. Pada perkembangannya, khususnya dalam beberapa tahun belakangan, muncul konsep proteksi radiasi ALADA (*As Low as Diagnostically Acceptable*) hingga yang terbaru ALADAIP (*As Low as Diagnostically Acceptable being Indication-oriented and Patient-specific*) yang dicetuskan oleh berbagai ahli untuk menggantikan prinsip ALARA karena penamaannya dinilai kurang tepat secara ilmiah dan memberikan pernyataan yang seringkali salah diartikan oleh para praktisi.^{3,10}

Tinjauan pustaka ini bertujuan membahas mengenai transformasi teori konsep ALARA yang telah dianggap kuno dan tradisional sebagai panduan utama dalam proteksi radiasi, khususnya dalam bidang radiologi kedokteran gigi.

STUDI PUSTAKA

PRINSIP PROTEKSI RADIASI

Prinsip proteksi radiasi, pada pelaksanaannya dalam bidang kedokteran dan kedokteran gigi, terus mengalami perkembangan karena peningkatan kebutuhan pemanfaatan radiasi pengion secara global untuk pemeriksaan klinis harian serta berbagai penelitian. Seiring peningkatan kebutuhan tersebut, pemahaman para ilmuwan mengenai fisika radiasi dan efek biologis pun meningkat dengan pesat. ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) merumuskan tiga hal utama dalam prinsip umum proteksi radiasi yaitu justifikasi, optimasi dan limitasi dosis individu. Konsep justifikasi bermakna bahwa setiap keputusan memberikan paparan radiasi untuk kebutuhan medis harus memiliki manfaat lebih besar bagi pasien daripada potensi kerugian yang mungkin terjadi. Optimasi adalah konsep yang menitikberatkan setiap pemeriksaan radiografi harus memiliki kualitas diagnostik yang memadai

namun tetap menjaga dosis yang diterima oleh pasien serendah mungkin. Adapun limitasi dosis individu mengacu pada pengakuan terhadap efek merugikan dari radiasi pengion sehingga ditetapkan suatu pedoman pembatasan jumlah dosis radiasi yang diterima oleh individu dan masyarakat.¹¹⁻¹⁴ Ketiga prinsip proteksi radiasi ini diadopsi secara global selama bertahun-tahun termasuk di Indonesia yang diatur di dalam peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-x radiologi diagnostik dan intervensional dalam bab persyaratan proteksi.¹⁵

Perkembangan pelaksanaan prinsip proteksi radiasi termasuk dalam pemeriksaan radiologi kedokteran gigi berlangsung dinamis dan mengalami beberapa revisi. Pada rekomendasi ICRP tahun 2007 telah dilakukan revisi dalam sistem proteksi radiasi yang memberikan panduan tentang prinsip dasar dalam melaksanakan proteksi pada pemeriksaan radiologis yang lebih tepat. Limitasi dosis kemudian dianggap tidak relevan lagi khususnya untuk paparan radiasi pengion dalam bidang medis karena ketika digunakan pada waktu, besaran dosis, serta tujuan atau indikasi yang tepat maka pemeriksaan radiologis menjadi alat yang sangat penting dalam penatalaksanaan berbagai kondisi patologis dengan lebih adekuat. Oleh karena itu, paparan radiasi pengion untuk indikasi medis tidak lagi memiliki limitasi dosis tetapi digunakan suatu istilah yang disebut *diagnostic reference level* (DRL) sebagai nilai referensi.¹⁶ Hal ini dipertegas kembali oleh ICRP pada tahun 2007 dengan mengkategorikan paparan radiasi pengion menjadi tiga yaitu *occupational exposures*, *public exposures*, dan *medical exposures* di mana aplikasi limitasi dosis hanya berlaku untuk *occupational* dan *public exposures*. *Occupational exposures* didefinisikan sebagai semua paparan radiasi pengion yang diperoleh seseorang sebagai akibat dari aktivitasnya sebagai pekerja radiasi misalnya radografer. Adapun untuk *medical exposures* yang terkait dengan pemeriksaan diagnostik termasuk pemeriksaan radiologi kedokteran gigi, prosedur radiologis intervensi maupun radioterapi tidak ada limitasi dosis karena pertimbangan kebutuhan pasien. Sedangkan *public exposures* adalah semua paparan radiasi yang diterima seseorang diluar *occupational* dan *medical exposures*.^{13,14,17}

Penerapan proteksi radiasi pada *medical exposures* untuk kebutuhan pencitraan diagnostik selanjutnya tetap mengedepankan prinsip justifikasi dan optimasi. Oleh karena itu, dalam setiap pemeriksaan radiologi kedokteran gigi harus memenuhi beberapa hal seperti mengoptimalkan prosedur pencitraan agar dapat diterima secara diagnostik, kurang dari nilai ambang batas dosis untuk menghindari efek deterministik, dan meminimalkan risiko efek stokastik dalam suatu rentang tertentu yang dapat diterima. Pencetusan *diagnostic reference level* (DRL) oleh ICRP pada tahun 1996 sebagai bentuk upaya optimasi proteksi radiasi pada pasien dengan mengatur dosis tiap prosedur pencitraan medis. Hal ini sejalan dengan prinsip ALARA sebelumnya. Penetapan DRL

bervariasi bergantung negara, wilayah, dan tujuan pemeriksaan. Nilai DRL secara khusus ditetapkan oleh badan berwenang tentang proteksi radiasi suatu negara atau wilayah yang biasanya ditetapkan pada persentil ke-75 distribusi dosis dari survei yang dilakukan pada seluruh basis pengguna yang luas meliputi fasilitas kesehatan dan rumah sakit menggunakan protokol pengukuran dosis tertentu dan *phantom*. Hal yang perlu diketahui adalah DRL bukanlah dosis yang disarankan atau dosis ideal untuk prosedur pemeriksaan radiologis tertentu namun konsep ini mewakili tingkat dosis yang perlu diselidiki kelayakannya dalam mencapai tingkat kualitas hasil pencitraan yang dibutuhkan sehingga nilai DRL bertindak sebagai *trigger* dalam pencapaian peningkatan kualitas hasil pemeriksaan radiologis tetapi dengan dosis yang dapat disesuaikan atau diminimalisir.^{14,16,18,19}

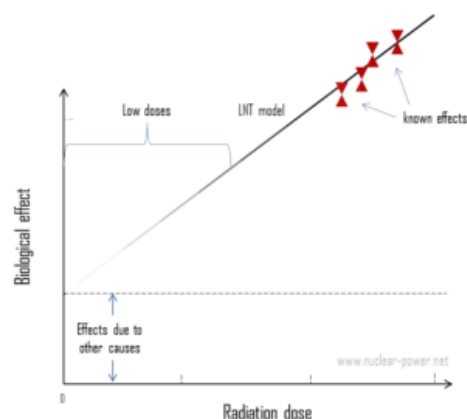
ALARA

Konsep ALARA (*As Low as Reasonably Achievable*) sebagai salah satu prinsip proteksi radiasi awalnya diperkenalkan di sektor nuklir yang kemudian diadopsi dalam dunia medis untuk memberikan peringatan pada praktisi agar menggunakan modalitas radiografi secara seperlunya seiring meluasnya asumsi bahwa setiap modalitas radiasi pengion berbahaya.²⁰ ALARA dalam setiap pemanfaatan radiasi pengion mulai diperkenalkan pada tahun 1973 melalui publikasi ke-22 dari ICRP yang menyatakan bahwa paparan radiasi pengion harus diberikan serendah mungkin, serta mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial. ALARA diartikan bahwa radiasi harus dilakukan serendah mungkin untuk meminimalisir resiko kanker dan kerusakan jaringan. Konsep ini bermula dari teori *linear no-threshold* (LNT), sebuah model standar proteksi radiasi yang secara formal mulai diaplikasikan dan diterima oleh organisasi pemerintahan di bidang proteksi radiasi di berbagai negara.²¹⁻²³ Teori LNT mengestimasi efek radiasi dosis kecil terhadap kesehatan. Berdasarkan teori LNT ini dinyatakan bahwa radiasi, dengan dosis sekecil apapun, selalu berbahaya tanpa adanya suatu ambang batas keamanan, dan menyatakan

bahwa penjumlahan dari beberapa eksposur dosis kecil dinilai memiliki efek yang sama dengan satu kali eksposur dengan dosis yang lebih besar (konsep linearitas) (Gambar 1).²⁴ E.B. Lewis, seorang professor biologi Amerika, kemudian mendukung teori LNT ini sebagai model dalam standar proteksi radiasi dan mencetuskan konsep proteksi ALARA.²³ Tidak adanya dosis nol, dosis aman dan ambang batas keamanan pada teori LNT menjadi dasar konsep ALARA.²⁵

Istilah ALARA sendiri merupakan pengembangan dan penyempurnaan selama bertahun-tahun dari beberapa rekomendasi organisasi yang meregulasi proteksi radiasi. ICRP, pada tahun 1954, sebelumnya telah merumuskan rekomendasi tentang pemberian paparan radiasi harus didasarkan pada prinsip *as low as possible* yang bermakna paparan radiasi yang diberikan pada pasien harus diminimalisir sebanyak mungkin sesuai kemampuan hasil pencitraannya dapat memberikan informasi diagnostik yang maksimal. Pada tahun yang sama, redaksi serupa juga digunakan oleh *National Committee On Radiation Protection* (kemudian menjadi *National Council on Radiation Protection and Measurements/NCRP*) bahwa paparan radiasi harus diatur dan diberikan pada dosis dengan tingkat terendah. Pada tahun 1966, ICRP menggunakan istilah *as low as is readily achievable*. Istilah ALARA kemudian diadopsi dari publikasi ke-26 ICRP pada tahun 1977 yang berbunyi *as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account* yang pada saat itu konsep ALARA tidak berdiri sendiri namun terdapat frase yang mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial.^{11,26}

Prinsip ALARA pada satu dekade belakangan menjadi kontroversi dan telah banyak disanggah ketidak-benarannya oleh banyak peneliti seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan.^{22,27,28} Konsep ALARA yang didasarkan pada teori LNT dinilai konservatif dan tidak sesuai dengan hasil penelitian ilmiah biologis mengenai efek stokastik/karsinogenik dari radiasi pengion. Teori LNT dianggap oleh sebagian peneliti telah menyebabkan kecemasan irasional tentang radiasi, dimana tiap mikrosievert dapat langsung menginduksi terjadinya kanker. Teori LNT dan konsep ALARA



Gambar 1. Teori LNT sebagai dasar konsep ALARA²⁴

dinilai juga tidak memperhitungkan proses pertahanan biologis tubuh yang juga bekerja di saat terkena paparan radiasi dengan dosis kecil atau yang juga disebut dengan *radiation hormesis*. Berbagai penelitian melaporkan bahwa radiasi dosis kecil dari penggunaan radiasi pengion justru menstimulasi respon adaptif tubuh sehingga terjadi pengurangan mutasi sel ataupun pembentukan sel kanker. Kurva linear pada kerangka model teori LNT tidak memperhatikan kemungkinan adanya ekstrapolarisasi akibat efek lainnya yang dapat mempengaruhi penerimaan radiasi pada dosis kecil.^{22,29,30}

Belakangan bahkan dilaporkan banyaknya bukti bahwa konsep LNT dicetuskan lebih hanya berdasarkan pertimbangan politik dibandingkan ilmiah.^{28,31} Terdapat banyak ahli dalam berbagai penelitian terbaru telah menganggap bahwa penerapan dan kampanye prinsip ALARA dalam hal proteksi radiasi di bidang medis merupakan hal yang tidak tepat, tidak valid secara ilmiah dan harus dihentikan, terutama oleh badan atau lembaga pemerintahan yang telah membuat kebijakan berdasarkan teori terkait. Prinsip ALARA dinilai hanya dapat membatasi praktisi untuk memberikan perawatan yang berkualitas, memberikan ketakutan (*radiophobia*) dan penolakan terhadap pasien untuk dilakukan tindakan radiografi, hingga justru meningkatkan paparan radiasi.^{27,29,32,33}

ALADA

Konsep ALADA (*As Low as Diagnostically Acceptable*) pertama kali dipublikasikan oleh Jerrold T. Bushberg pada tahun 2013 dalam kongres tahunan ke-50 NCRP (*National Council of Radiation Protection & Measurements*), sebuah organisasi non pemerintah di Amerika Serikat yang berperan dalam pengawasan proteksi radiasi bersama dengan organisasi lainnya di tingkat nasional maupun internasional. Tercetusnya konsep ini didasarkan pada hasil penelitian NCRP bahwa pada 30 tahun terakhir terdapat peningkatan signifikan dosis radiasi tahunan yang diterima masyarakat akibat semakin banyak ketersediaan modalitas dan penggunaan radiasi di bidang medis, khususnya modalitas CT dan kardiovaskuler *nuclear medicine*. Disamping pengembangan dari aspek teknologi modalitas pencitraan, pengembangan terhadap aspek justifikasi dan optimasi juga dinilai sangat penting dalam mengontrol eksposur radiasi. Konsep ALADA kemudian dicetuskan untuk menjadi variasi lain dari ALARA guna menekankan efek optimasi di bidang *medical imaging*.³⁴

Perkembangan konsep ALADA di bidang radiologi kedokteran gigi mulai terpublikasi pada tahun 2015, khususnya dalam aplikasinya terhadap modalitas CBCT. Penggunaan kata "*reasonably achievable*" dalam ALARA diketahui dapat memberikan pengertian yang bias bagi dokter gigi, pasien maupun operator. Operator diketahui meningkatkan dosis radiasi demi tercapainya gambaran berkualitas tinggi dalam satu kali pencitraan dengan maksud agar tidak terjadi pengulangan tindakan dan langsung mendapatkan

hasil radiograf yang sempurna. Minimalnya pengetahuan dokter gigi juga disebutkan seringkali mengakibatkan rujukan CBCT dilakukan secara tidak tepat. Sebagian dokter gigi memiliki pemahaman bahwa CBCT merupakan modalitas pencitraan yang utama dan standar karena dapat memberikan informasi secara lengkap untuk berbagai kasus sehingga seringkali mereka langsung merujuk pasiennya untuk pemeriksaan CBCT tanpa melalui pemikiran sebelumnya akan radiografi konvensional. Hal ini kemudian menjadi dasar pemikiran bahwa kata "*diagnostically acceptable*" dalam konsep ALADA dinilai lebih tepat digunakan dan diaplikasikan sebagai prinsip utama proteksi radiasi, khususnya dalam bidang radiologi kedokteran gigi.³

Kualitas suatu gambaran radiograf selama ini diklasifikasikan dalam tiga kategori yakni *excellent*, *diagnostically acceptable* dan *unacceptable*, oleh karenanya penamaan ALADA dinilai lebih spesifik sebagai sebuah parameter dibandingkan ALARA. Pengaturan FOV, mAs dan kVp serta tingkat resolusi pada modalitas CBCT berdasarkan indikasi kasus yang diperiksa seharusnya dilakukan dengan tujuan utama untuk mendapatkan gambaran radiograf yang cukup baik dan dapat diinterpretasi secara diagnostik. Pemahaman mengenai perbedaan antara gambaran radiograf yang berkualitas sangat baik (*excellent*) dengan cukup baik namun tetap dapat diinterpretasi (*diagnostically acceptable*) menjadi hal yang substansial dalam pengaplikasian asas proteksi radiasi.³ Berkaitan dengan hal ini, saat ini kategori klasifikasi *excellent* pun mulai ditinggalkan dan direkomendasikan hanya menjadi dua, yakni *diagnostically acceptable* dan *diagnostically unacceptable*, baik untuk radiograf dua dimensi maupun tiga dimensi.⁸

ALADAIP

Konsep ALADAIP (*As Low as Diagnostically Acceptable being Indication-oriented and Patient-specific*) menjadi konsep yang paling baru. Teori ini pertama kali dicetuskan pada tahun 2017 oleh *The European DIMITRA Project*, sebuah asosiasi penelitian di bidang pencitraan area oromaksilofasial pediatri yang tergabung dalam tim penelitian OPERRA (*Open Project for European Radiation Research Area*) yang berfokus pada pengembangan kebijakan penggunaan modalitas CBCT dengan dosis radiasi optimal (*patient-specific* dan *indication-oriented*) pada pasien pediatri. DIMITRA menganggap bahwa dibutuhkan pendekatan multidisipliner dalam meneliti risiko radiasi dari berbagai perspektif berbeda yang berhubungan satu sama lain, mulai dari karakteristik radiobiologi (respon *stem cell* oral, profil saliva), perhitungan dosimetri, survey epidemiologi, optimalisasi dosis dan kualitas gambar. DIMITRA kemudian mencetuskan prinsip ALADAIP untuk menggantikan prinsip ALARA dan ALADA yang juga diadaptasi oleh *The European Academy of Paediatric Dentistry* (EAPD).^{5,10}

Penambahan kata "*Indication-oriented and Patient-specific*" dinilai jauh lebih spesifik terhadap

tiap individu karena terdapat parameter yang lebih jelas. Hal ini dimaksud agar pengaturan radiasi didasarkan untuk mencapai hasil yang cukup baik (*diagnostically acceptable*) dan sudah tepat indikasi dan tepat pasien. Tepat indikasi adalah besar dosis radiasi yang dikeluarkan oleh pesawat sinar-X spesifik harus sesuai dengan kasus atau obyek yang akan dilihat untuk mencapai gambaran *diagnostically acceptable* dalam radiograf, sedangkan tepat pasien adalah besar dosis radiasi harus sesuai dengan karakteristik klinis atau personal pasien, seperti usia, jenis kelamin, luas permukaan tubuh, riwayat radiasi dan lain sebagainya. Baik tepat pasien dan tepat indikasi menjadi satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dalam hal penerapan proteksi radiasi ALADAIP. Keseimbangan antara dosis radiasi dan kualitas hasil radiograf dengan mempertimbangkan karakteristik pasien serta indikasinya menjadi tujuan utama dari prinsip ALADAIP. Pada sebagian besar modalitas CBCT yang telah ada di pasaran saat ini telah tersedia fitur pemilihan FOV, KVp, mAs, pilihan mode anak ataupun dewasa, hingga pemilihan tingkat resolusi yang dapat dilakukan pengaturan sesuai dengan konsep ALADAIP.^{10,30}

Bersamaan dengan pencetusan teori ALADAIP, DIMITRA turut mengeluarkan rekomendasi atau panduan awal mengenai estimasi rentang dosis radiasi efektif yang dibutuhkan untuk beberapa kasus dental pediatri, yang didapat berdasarkan studi-studi yang telah ada sebelumnya dan telah dikalkulasi seakurat mungkin dari 5 pesawat CBCT berbeda. Kasus tersebut antara lain meliputi gigi impaksi, trauma dentoalveolar, *cleft* orofasial, anomali dental dan kelainan patologis tulang, yang didalamnya telah mengatur besar FOV, tingkat resolusi hingga dosis efektif yang diperlukan. Panduan tersebut diproyeksikan menjadi titik awal penentuan dosis efektif pada kasus lainnya dan dasar berbagai penelitian lanjutan dengan tujuan agar dapat memberikan petunjuk klinis dan rekomendasi ilmiah terhadap ketepatan indikasi modalitas radiografi, khususnya CBCT, sehingga konsep proteksi radiasi ALADAIP dapat diterapkan dengan maksimal.¹⁰

DISKUSI

Secara numerik dosis efektif dari radiasi yang dipaparkan pada pasien dalam bidang radiologi kedokteran gigi cenderung rendah namun dosis kolektifnya cukup signifikan karena banyaknya jumlah radiografi yang dilakukan.^{1,18} Oleh karena itu, perhatian terhadap justifikasi dan optimasi sebagai prinsip proteksi radiasi dalam bidang radiologi kedokteran gigi harus selalu dikedepankan. Penerapan proteksi radiasi adalah hal yang wajib diperhatikan para praktisi di dunia medis oleh karena adanya efek negatif potensial yang dihasilkan oleh radiasi pengion dari modalitas radiografi sinar-X, yakni efek stokastik dan deterministik. Sebuah konsep proteksi radiasi yang valid, teruji secara ilmiah dan mudah dipahami oleh semua pihak menjadi suatu hal yang substansial

dalam mengaplikasikan manajemen risiko serta keselamatan radiasi di instalasi radiologi, termasuk radiologi kedokteran gigi.

Beberapa prinsip atau konsep proteksi radiasi telah dikembangkan hingga saat ini. Prinsip ALARA merupakan konsep yang dicetuskan paling awal telah dikenal secara luas sejak lama. Bagaimanapun teori ini dilaporkan pada satu dekade belakangan oleh para peneliti memiliki banyak kelemahan hingga telah dianggap tidak tepat dan tidak lagi relevan untuk diaplikasikan khususnya sebagai prinsip proteksi radiasi di bidang medis. Teori LNT yang menjadi dasar dari prinsip ALARA telah dibuktikan dalam berbagai penelitian tidak valid secara ilmiah dan direkomendasikan untuk ditinggalkan.^{22,27-30,32,33} Pemahaman yang berbeda mengenai teori ALARA oleh dokter gigi perujuk, operator, radiolog serta pasien selama ini diketahui justru membawa dampak yang negatif akan risiko radiasi yang lebih besar, yang diduga bermula dari penamaan yang tidak spesifik.³ Kemunculan beberapa teori baru seperti ALADA dan ALADAIP menjadi rekomendasi terbaru untuk menggantikan konsep ALARA yang dianggap sudah tidak relevan lagi dengan perkembangan teknologi pencitraan di bidang kedokteran gigi terutama penggunaan CBCT dan peningkatan kebutuhan pemeriksaan radiologis. Ketidakspefisikan konsep ALARA dapat menyebabkan ketidaktepatan indikasi rujukan CBCT serta ketidaksesuaian dosis paparan dengan karakter personal pasien menyebabkan risiko paparan radiasi yang tidak perlu justru meningkat walaupun secara umum dosis efektif CBCT termasuk ke dalam kategori *low-dose*.^{3,5}

Kerangka konseptual ALADA sebagai transformasi dan modifikasi dari ALARA mencerminkan *trade-off* antara kualitas hasil pencitraan dan dosis radiasi yang terlihat pada sistem pencitraan digital. Pentingnya optimasi dalam setiap pemberian *medical exposure* sangat vital untuk menekankan penggunaan dosis radiasi terendah yang konsisten dengan kualitas gambaran yang memadai dan dapat diterima secara diagnostik.⁵ Konsep ini kemudian telah dikembangkan lebih jauh menjadi ALADAIP, tidak lagi bergantung pada teori LNT seperti prinsip ALARA. Segala kelemahan ilmiah yang ditemukan pada prinsip ALARA dapat digantikan sepenuhnya dengan konsep ALADAIP yang mengutamakan tercapainya hasil radiograf berkualitas cukup baik (*diagnostically acceptable*) dengan tepat indikasi dan tepat pasien. ALADAIP secara praktis merekomendasikan suatu parameter paparan yang harus disesuaikan dengan kondisi spesifik ukuran pasien. Hal ini penting dalam kasus pasien anak-anak dan remaja yang mungkin bertubuh lebih kecil. Selain itu, beberapa kebutuhan diagnostik khusus membutuhkan resolusi gambar yang lebih besar sehingga pengaturan paparan juga lebih tinggi misalnya pada pencitraan saluran akar atau garis fraktur pada gigi yang tentu memiliki tingkat kualitas gambar yang lebih tinggi daripada dosis yang dibutuhkan untuk menilai ada atau tidaknya benih gigi. Prinsip ALADAIP juga sejalan dengan konsep DRL yang mendefinisikan secara terpisah

prosedur pemeriksaan radiologis pada pasien dewasa dan pasien anak. Secara praktis DRL dijelaskan bergantung pada berat, tinggi, dan usia individu. Selain itu, DRL tidak hanya digunakan untuk meminimalisir dosis radiasi untuk pasien tetapi juga menyediakan data yang diperlukan dalam diagnosis penyakit sehingga hasil pencitraan harus memiliki kualitas yang dapat diterima.^{5,35,36} Penamaan ALADAIP sendiri memberikan pernyataan yang lebih jelas, terarah dan spesifik dibandingkan ALARA yang seringkali justru disalahartikan oleh berbagai pihak.^{3,10} Bagaimanapun penerapan prinsip ALADAIP di bidang radiologi kedokteran gigi ini masih memiliki hambatan antara lain seperti rentang dosis efektif yang luas dan berbeda-beda khususnya di antara pesawat CBCT satu dengan yang lain hingga keterbatasan penelitian mengenai dosis efektif yang tepat indikasi. Selain itu beberapa penelitian tentang konsep ini masih dilakukan pada pasien anak dan remaja.

ICRP pada tahun 2015 telah mempublikasikan *guideline* mengenai CBCT. Salah satu cara untuk mengurangi dosis radiasi adalah dengan pengurangan putaran pusat radiasi sebesar 180° hingga 240° untuk menggantikan rotasi penuh 360°. Rekomendasi lainnya ialah dengan memonitor output dosis radiasi dari pesawat CBCT melalui perbandingan *reference level*.³⁷ Sebagian besar pesawat CBCT yang telah beredar di pasaran telah memiliki fitur pengaturan eksposur dan dosis secara otomatis melalui pemilihan FoV, mode anak atau dewasa, hingga tingkat resolusi. Sebagian lain turut menyediakan fitur pengaturan dosis secara manual meliputi pengaturan KVp dan mAs.^{10,30} Dengan sistem pengaturan ini maka baik radiologis maupun operator dapat menerapkan konsep ALADAIP dengan lebih mudah dan fleksibel, meskipun dibutuhkan pemahaman lebih lanjut serta komitmen yang kuat mengenai pemilihan jenis pencitraan serta dosis radiasi sesuai dengan personal pasien dan indikasi tertentu, dengan tetap dapat memberikan hasil akhir radiograf yang dapat diinterpretasi. Unsur *patient-specific* dalam konsep ALADAIP juga menawarkan koneksitas yang jelas dengan penerapan DRL dari prosedur pemeriksaan radiologis sehingga dosis paparan radiasi yang diberikan kepada pasien tepat disesuaikan dengan kondisi faktual pasien. Hal ini menjawab kelemahan ALARA yang cenderung membatasi pemeriksaan radiologi namun tidak disertai deskripsi yang jelas tentang penerapan dosis yang tepat untuk memperoleh informasi diagnostik yang baik. Selain itu, konsep ALADAIP juga menjawab dengan jelas mengapa limitasi dosis individu tidak lagi relevan digunakan sebagai prinsip utama proteksi radiasi dalam *medical exposures*. Unsur *indication-oriented* adalah panduan utama dalam menentukan keputusan apakah pemeriksaan radiologis harus dilakukan atau tidak tanpa mempertimbangkan limitasi dosis individu jika memang pemeriksaan itu terkait dengan peningkatan kualitas perawatan pasien dengan memperoleh dukungan diagnostik yang adekuat.

Perkembangan teknologi CBCT dalam

pemeriksaan radiologi kedokteran gigi menyebabkan peningkatan permintaan rujukan pemeriksaan radiologi untuk memperoleh hasil pencitraan yang *excellent* (sempurna). Namun, para praktisi radiologi kedokteran gigi harus memberikan penjelasan kepada sejawat lainnya tentang perbedaan antara hasil pencitraan yang *excellent* dengan hasil pencitraan yang bernilai diagnostik (*diagnostically acceptable*) sesuai indikasi dan keadaan pasien. Selain itu, konsensus bahwa CBCT bukanlah merupakan indikasi pemeriksaan rutin dan diagnosis awal juga menjadi pertimbangan. Hal ini membawa pada perlunya penerapan sistem proteksi radiasi yang lebih jelas terutama pada pemeriksaan CBCT yang memiliki dosis relatif lebih tinggi daripada pemeriksaan radiologi kedokteran gigi lainnya.³ Belum terdapatnya pengaturan secara otomatis dosis radiasi pada pesawat CBCT khususnya berdasarkan jenis diagnosis/kasus atau obyek pada area oromaksilofasial berbeda yang akan dilihat serta ketersediaan rekomendasi atau *guideline* besar dosis radiasi efektif pada masing-masing kasus dental yang konsisten dan spesifik bagi tiap pesawatnya,¹⁰ menjadi beberapa pemikiran yang perlu dikembangkan lebih lanjut ke depannya oleh para peneliti dan produsen pabrikan untuk dapat mengembangkan prinsip ALADAIP secara utuh. Tidak tertutup kemungkinan seiring dengan berkembangnya teknologi modalitas radiografi, pengaturan pesawat CBCT ataupun modalitas lainnya dapat disesuaikan dengan macam kasusnya sehingga memungkinkan parameter yang lebih spesifik dan sesuai indikasi.

Konsep ALADAIP tidak lagi terpaku pada “*zero threshold*” layaknya prinsip ALARA.^{22,24,29,30} Efek ekstrapolarisasi pada saat pasien menerima dosis radiasi kecil dapat menghasilkan gambaran kurva yang berbeda dan tidak lagi linear. Kurva efek radiasi dapat mengarah lebih ke atas ataupun ke bawah sesuai dengan beberapa faktor pengaruh lainnya. Upaya peningkatan proteksi radiasi tambahan lainnya, seperti pemberian nutrisi penuh antioksidan atau zat yang berperan sebagai agen radioprotektif lainnya selama ini telah terbukti dapat menurunkan efek negatif radiasi yang diterima tubuh dan memicu regenerasi jaringan.³⁸ Hal tersebut memungkinkan kurva efek negatif radiasi dapat menjadi semakin lebih rendah dari seharusnya. Hingga saat ini belum terdapat pernyataan definitif bahwa *intake* nutrisi ataupun suplementasi radioprotektif harus selalu diaplikasikan sejalan dengan prinsip ALADAIP.

DIMITRA, sebagai pencetus awal konsep ALADAIP, hingga saat ini masih terus melakukan penelitian lanjutan guna menunjang kematangan dari konsep proteksi radiasi ini agar dapat diaplikasikan dengan lebih baik kedepannya. Pada penelitiannya di tahun 2019, DIMITRA membuktikan bahwa terdapat kemungkinan untuk mengurangi dosis efektif yang selama ini telah digunakan pada pesawat CBCT hingga ke tingkat tertentu dengan tetap memenuhi kualitas radiograf yang baik dan dapat diinterpretasi.³⁹ Perlu diingat bahwa DIMITRA sampai saat ini hanya berfokus pada pasien pediatri sehingga pengembangan lebih

luas terhadap berbagai karakteristik pasien dewasa, lansia ataupun berkebutuhan khusus dapat menjadi rencana penelitian jangka panjang selanjutnya.

SIMPULAN

Konsep proteksi radiasi ALADAIP dapat direkomendasikan untuk mengganti prinsip ALARA yang sudah tidak lagi valid dan tidak spesifik. Hal ini karena konsep ALADAIP menekankan pada pemberian dosis serendah mungkin yang telah disesuaikan dengan indikasi serta kondisi karakter personal tiap pasien namun tetap memberikan hasil radiograf yang dapat bernilai diagnostik dan dapat diinterpretasi. Studi dan penelitian lebih lanjut dibutuhkan agar prinsip ALADAIP dapat diaplikasikan secara lebih luas dan sepenuhnya bukan hanya pada pasien anak-anak dan remaja tetapi juga untuk seluruh pasien berdasarkan spesifikasi dan indikasinya sehingga prinsip proteksi radiasi yang tepat dapat tercapai, khususnya di bidang radiologi kedokteran gigi.

DAFTAR PUSTAKA

- Okano T, Sur J. Radiation dose and protection in dentistry. *Jpn Dent Sci Rev* [Internet]. 2010;46(2):112–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdsr.2009.11.004>
- Shah N, Bansal N, Logani A. Recent advances in imaging technologies in dentistry. 2014;6(10).
- Jaju PP, Jaju SP. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. 2015;263–5.
- M.Janucci J, Howerton LJ. Digital Imaging. In: M.Janucci J, Howerton LJ, editors. *Dental Radiography Principles and Techniques*. 5th ed. St.Louis, Missouri: Elsevier/Saunders; 2017. p. 289.
- Kühnisch J, Anttonen V, Duggal MS, Spyridonos ML, Rajasekharan S, Sobczak M, et al. Best clinical practice guidance for prescribing dental radiographs in children and adolescents: an EAPD policy document. *Eur Arch Paediatr Dent* [Internet]. 2019;(January 2020). Available from: <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00493-x>
- Hasanzadeh H, Emadi A, Masoumi H, Seifi D, Khani T. Radiation Protection Knowledge, Attitude, and Practice (KAP) in Interventional Radiology. 2018;33(2):141–7.
- Pérez DM del R, Team WFR. The Bonn Call for Action Ionizing radiation in health care : The Bonn Call for Action. 2013.
- Whaites E, Drage N. *Essentials of Dental Radiography and Radiology*. 6th Edition. London: Elsevier Ltd; 2021.
- Hamada N, Fujimichi Y. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: History, current situation and future prospects. *J Radiat Res*. 2014;55(4):629–40.
- Oenning AC, Jacobs R, Pauwels R, Stratis A, Hedesiu M, Salmon B. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatr Radiol*. 2018;48(3):308–16.
- Miller D, Schauer D. The ALARA Principle in Medical Imaging. *AAPM News* [Internet]. 2015;40(1):38–40. Available from: https://www.researchgate.net/publication/272504868_The_ALARA_principle_in_medical_imaging
- FDI Policy Statement. Radiation Safety in Dentistry. 2014.
- Do K-H. General principles of radiation protection in fields of diagnostic medical exposure. *J Korean Med Sci* [Internet]. 2016;31:6–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.3346/>
- C.White S, J.Pharaoh M. Safety and Protection. In: White S, Pharaoh M, editors. *Oral Radiology Principles and Interpretation*. 7th ed. St.Louis, Missouri: Elsevier Mosby; 2014. p. 29–39.
- BAPETEN. PERKABAPETEN No.8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam penggunaan pesawat sinar x radiologi diagnostik dan intervensional. 2011.
- Cynthia H.McCollough. Diagnostic Reference Levels. WWW.Imagewisely.org. 2010. p. 1–6.
- ICRP Publication 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 2007.
- Mallya S. Safety and Protection. In: White and Pharaoh ' s *Oral Radiology Principles and Interpretation*. Elsevier Health Sciences; 2018.
- Latifah R, Jannah NZ, Nurdin DZ., P B. Determination of Local Diagnostic Reference Level (Ldl) Pediatric Patients on Ct Head Examination Based on Size-Specific Dose Estimates (Ssde) Values. *J Vocat Heal Stud*. 2019;2(3):127.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report No. 107: Implementation of the Principle of as Low as Reasonably Achievable (ALARA) for Medical and Dental Personnel. NCRP (National Council on Radiation Protection & Measurements); 1990.
- Clarke R, Valentin J. A history of the international commission on radiological protection. *Health Phys*. 2005 Jun;88(5):407–22.
- Doss M. Linear No-Threshold Model vs. Radiation Hormesis. Dose-Response. 2013 Oct;11(12):480–97.
- Gottfried K-LD, Penn G. Radiation in Medicine: A Need for Regulatory Reform. National Academy of Sciences. Washington DC: National Academy Press; 1996.
- Kathren RL. Pathway to a Paradigm: the linear nonthreshold dose-response model in historical context. *Health Phys*. 1996 May;70(5):621–35.
- European Commission. Radiation Protection No. 172: Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology (Evidence-based guidelines). Directorate-General for Energy - Directorate D - Nuclear Energy Unit D4 - Radiation Protection European Union; 2012.
- Yeung AWK. The “ As Low As Reasonably Achievable ” (ALARA) principle : a brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications. 2019;54(2):103–9.
- Oakley PA, Harrison DE. Death of the ALARA Radiation Protection Principle as Used in the Medical Sector. *Dose-Response*. 2020;18(2):1–12.
- Calabrese EJ. On the origins of the linear no-threshold (LNT) dogma by means of untruths, artful dodges and blind faith. *Environ Res*. 2015 Oct;142(5):432–42.
- Tharmalingam S, Sreetharan S, Brooks AL, Boreham DR. Re-evaluation of the linear no-threshold (LNT) model using new paradigms and modern molecular studies. *Chem Biol Interact*. 2019;301(November 2018):54–67.
- Belmans N. Biological effects of ionizing radiation in medical imaging : a prospective study in children and adults following dental cone-beam computed tomography. Maastricht University; 2019.
- Pennington CW, Siegel JA. The Linear No-Threshold Model of Low-Dose Radiogenic Cancer: A Failed Fiction. *Dose-Response*. 2019 Jan;17(1):1559325818824200.
- Siegel JA, Pennington CW, Sacks B. Subjecting radiologic imaging to the linear no-threshold hypothesis: A non sequitur of non-Trivial proportion. *J Nucl Med*. 2017;58(1):1–6.
- Cardarelli JJ, Ulsh BA. It is time to move beyond the linear no -threshold theory for low-dose radiation protection. *Dose-Response*. 2018;16(3):1–24.
- Bushberg JT. 50th Annual Meeting Program NCRP : Achievements of the Past 50 Years and Addressing the Needs of the Future. In: Science, Radiation Protection, and the NCRP: Building on the Past, Looking to the Future. Bethesda, Maryland: NCRP (National Council on Radiation Protection & Measurements); 2014. p. 5–7.
- Soleimani H, Mirdoraghi M. A Review of the Status of Diagnostic Reference Levels for Radiology in Iran Running title : A Review of the Status of Diagnostic Reference Levels for A Review of the Status of Diagnostic Reference Levels for Radiology in Iran Running. *J Biomed Heal*. 2017;(J).
- White SC, Scarfe WC, Schulze MSRW, Douglass JM, Allan DDS, Farman G, et al. The Image Gently in Dentistry Campaign Promotion of Responsible Use of Maxillofacial Radiology in Dentistry for Children. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* [Internet]. 2014; Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.o000.2014.06.001>
- Rehani MM. Radiological protection in computed tomography and cone beam computed tomography. *Ann ICRP*. 2015;44(1 Suppl):229–35.
- Szejka M, Kołodziejczyk-Czepas J, Żbikowska HM. Radioprotectors in radiotherapy – advances in the potential

- application of phytochemicals. *Postepy Hig Med Dosw.* 2016 Jun;70:722–34.
39. Oenning AC, Pauwels R, Stratis A, De Faria Vasconcelos K, Tijssens E, De Grauwe A, et al. Halve the dose while maintaining image quality in paediatric Cone Beam CT. *Sci Rep.* 2019;9(1):1–9.