

ABSTRAK

Penuaan seluler dicirikan dengan penurunan progresif dan sifatnya *irreversible* di bagian struktur dan fungsi sel sebagai akibat dari banyaknya jumlah kerusakan molekuler. Radiasi yang bersifat ionisasi maupun non-ionisasi terindikasi memberikan peranan penting dalam memperlaju proses penuaan. Penelitian ini ditujukan untuk mengumpulkan beberapa bukti ilmiah yang membahas terkait tentang mekanisme penuaan sel sebagai akibat dari induksi paparan radiasi, baik itu UVA, UVB, cahaya biru, sinar-X, dan sinar gamma. Peneliti memilah sebanyak 52 artikel ilmiah, baik dari nasional maupun internasional, dengan klasifikasi yang dipilih berdasarkan kualitasnya, yang lebih menyorot pada biologi radiasi dan keterkaitannya dengan penuaan sel. Literatur-literatur tersebut dipilih dari basis data ilmiah terverifikasi dan berintegritas, kemudian dianalisis dengan cara membandingkan dan menyatukan guna mengidentifikasi persamaan dan perbedaan jalur molekuler antarjenis radiasi. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa UVA menginduksi stres oksidatif dan disfungsi mitokondria lewat meningkatnya produksi spesies oksigen reaktif (ROS), yang kemudian menimbulkan aktif jalur jalur cGAS-STING dan mempercepat degradasi matriks ekstraseluler. Kerusakan DNA disebabkan oleh UVB berupa pembentukan cyclobutane pyrimidine dimers dan 6-4 *photoproducts*, yang mengaktifkan jalur ATR-CHK1-p53 dan memicu penghentian siklus sel. Cahaya biru berperan besar bagi munculnya penuaan sel lewat fragmentasi mitokondria, potensial membran yang menurun, dan aktivasi *senescence-associated secretory phenotype* (SASP). Di samping itu, radiasi ionisasi semacam sinar-X dan sinar gamma menimbulkan DNA rusak yang ditandai dengan *double-strand breaks* dan aktivasi respons kerusakan DNA (DDR) yang persisten, sehingga kemudian memperlambat jalur p12 dan p16, serta memicu penuaan sel yang sifatnya bersifat irreversible dan fibrosis jaringan. Sejumlah jenis radiasi secara komprehensif meningkatkan laju penuaan sel lewat jalur molekuler yang tidak sama, akan tetapi saling bersinggungan. Mekanisme ini penting untuk dipahami sebagai pijakan untuk mengembangkan strategi pencegahan dan terapi penuaan yang diakibatkan oleh radiasi.

Kata kunci: radiasi, penuaan seluler, UVA, UVB, cahaya biru.

ABSTRACT

Cellular aging is characterized by a progressive and irreversible decline in the structure and function of cells as a result of extensive molecular damage. Both ionizing and non-ionizing radiation appear to play an important role in accelerating the aging process. This study aims to gather scientific evidence discussing the mechanisms of cellular aging as a result of radiation exposure, including UVA, UVB, blue light, X-rays, and gamma rays. The researchers sorted through 52 scientific articles, both national and international, classified based on their quality, with a focus on radiation biology and its relationship to cellular aging. The literature was selected from verified and credible scientific databases, then analyzed by comparing and combining it to identify similarities and differences in molecular pathways between radiation types. The results revealed that UVA induces oxidative stress and mitochondrial dysfunction through increased production of reactive oxygen species (ROS), which then activates the cGAS–STING pathway and accelerates the degradation of the extracellular matrix. DNA damage caused by UVB takes the form of cyclobutane pyrimidine dimers and 6-4 photoproducts, which activate the ATR–CHK1–p53 pathway and trigger cell cycle arrest. Blue light plays a major role in the onset of cellular aging through mitochondrial fragmentation, decreased membrane potential, and activation of the senescence-associated secretory phenotype (SASP). In addition, ionizing radiation such as X-rays and gamma rays causes DNA damage characterized by double-strand breaks and persistent activation of the DNA damage response (DDR), which then tightens the p12 and p16 pathways and triggers irreversible cell aging and tissue fibrosis. Various types of radiation comprehensively increase the rate of cellular aging through molecular pathways that are not identical but intersect with each other. Understanding this mechanism is important as a basis for developing strategies to prevent and treat radiation-induced aging.

Keywords: radiation, cellular aging, UVA, UVB, blue light.