

Mekanisme Dampak Negatif Akrilamida Pada Pencemaran Lingkungan Dan Terjadinya Penyakit Kanker: *Review*

Mechanism of Negative Impact of Acrylamide on Environmental Pollution and The Occupation of Cancer Disease: A Review

Ayub¹*, Anna Heirina², Refa Riskiana³

¹ Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

² Program Studi Ilmu Perikanan, Universitas Bina Insan, Lubuk Linggau

³ DLHK Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Bangka Belitung

*Penulis korespondensi: ayubsetia@yahoo.co.id

ABSTRAK

Akrilamida merupakan bahan kimia yang terbentuk secara alami dari pemanasan makanan bertepung atau berkarbohidrat pada suhu 120 °C. Beberapa penggunaan akrilamida antara lain pada pengolahan air, pengeboran minyak, *pulp and paper*, pertambangan, dan lainnya. Pencemaran akrilamida pada lingkungan dapat melalui air permukaan atau air tanah, saluran air yang mengalir ke sumur, sungai, hingga laut. Beberapa penelitian melaporkan adanya peningkatan resiko gangguan ginjal, kanker endometrium, dan kanker ovarium akibat dari terpapar akrilamida. Mekanisme pada terjadinya penyakit kanker akibat dari akrilamida yaitu terjadinya mutasi genesis atau mutasi glikidamid, mutasi tersebut yang menyebabkan terjadinya penyakit kanker. Penelitian menunjukkan bahwa mutasi glikidamid ditemukan dalam sepertiga dari sekitar 1.600 genom tumor yang sesuai dengan 19 jenis tumor manusia dari 14 organ. Terdapat kontribusi ekstensif tak terduga dari mutagenesis terkait akrilamida pada kanker pada manusia.

Kata kunci: akrilamida, poliakrilamida, kanker, pengolahan

ABSTRACT

Acrylamide is a chemical that is formed naturally from heating starchy or carbohydrate foods at a temperature of 120 °C. Some of the uses of acrylamide include water treatment, oil drilling, pulp and paper, mining, and others. Acrylamide pollution in the environment can be through surface water or groundwater, water channels that flow into wells, rivers, to the sea. Several studies have reported an increased risk of kidney disorders, endometrial cancer, and ovarian cancer as a result of exposure to acrylamide. The mechanism for the occurrence of cancer due to acrylamide is the occurrence of genesis mutations or glycidamide mutations, these mutations which cause cancer. Research shows that glycidamide mutations are found in one-third of the approximately 1,600 tumor genomes corresponding to 19 human tumor types from 14 organs. There is an unexpected extensive contribution of acrylamide-associated mutagenesis in human cancer.

Keywords: Acrylamide, cancer, polyacrylamide, treatment.

1. PENDAHULUAN

Akrilamida memiliki rumus kimia C_3H_5NO adalah bahan kimia yang biasa digunakan sebagai flokulan untuk *treatment* air minum dan air limbah. Selain itu akrilamida digunakan juga dalam pembangunan terowongan, bidang pertanian, *pulp and paper*, pertambangan dan lain-lain. Secara alami akrilamida terbentuk dari makanan bertepung/karbohidrat yang dipanaskan pada suhu 120 °C (Sojka et al., 2007). Berdasarkan formasi elektrikalnya, akrilamida dibedakan menjadi tiga yaitu netral, anionik, dan kationik. Akrilamida anionik banyak digunakan pada bidang pertanian yaitu untuk mengurangi erosi tanah dan meningkatkan infiltrasi karena terbukti memiliki dampak bagi pencemaran lebih rendah (Tepe & Çebi, 2019); WHO, 2017). Akrilamida dapat berbentuk air, bubuk, granul, tablet, dan minyak (Weston et al., 2009). Berdasarkan sifatnya, akrilamida sangat mudah terlarut dan mobile dalam air maka dapat menjadi bahan pencemar. Akrilamida neurotoksin bagi manusia sehingga diklasifikasikan sebagai senyawa karsinogenik dan mutagenik. Efek toksik yang dihasilkan tergantung terhadap lama paparan dan dosis total (IPCS, 1999; WHO, 2011).

Badan kesehatan dunia (WHO) (2017), telah menetapkan batas maksimum kontaminasi akrilamida pada air minum yaitu 0,5 µg/liter. Bahkan badan perlindungan lingkungan Amerika Serikat (EPA) (2016), mensyaratkan kandungan akrilamida dalam air minum sebesar 0 µg/liter. Hal ini ditetapkan karena akrilamida menyebabkan kerusakan sistem syaraf, darah, dan meningkatkan resiko kanker. Sedangkan di Indonesia dan negara berkembang lainnya belum diatur kandungan senyawa akrilamida pada air minum (Tape, 2016; Permenkes, 2017). Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC) mengklasifikasikan akrilamida sebagai "karsinogenik bagi manusia (kelompok 2A)" berdasarkan bukti dari hewan dan studi *in vitro* (Santacana et al., 2016). Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan pembahasan lebih lanjut mengenai penggunaan akrilamida, pencemarannya pada lingkungan, dampak negatif yang dapat ditimbulkan, dan mekanisme terjadinya penyakit kanker dengan metode review jurnal-jurnal penelitian terdahulu.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan pencarian literatur yang komprehensif mengenai akrilamida dan mekanisme dampak negatif akrilamida pada pencemaran lingkungan dan terjadinya penyakit kanker. Literatur lalu ditelaah dengan seksama dan mendalam untuk menghasilkan intisari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penggunaan Akrilamida dan Pencemarannya

Akrilamida dapat mencemari lingkungan dari penggunaan umum polimer akrilamida yaitu *polyacrylamide*. Secara berurutan penggunaan *polyacrylamide* di berbagai bidang yaitu *water treatment* 45%, pengeboran minyak 20%, *pulp and paper* 20%, pertambangan 10%, dan lainnya 5% (Taeymans et al., 2004; Tape Y and Çebi A, 2017). Penggunaan akrilamida sebagai flokulan dikarenakan murah dan mudah untuk diaplikasikan, akan tetapi penelitian telah membuktikan adanya hubungan antara residu *polyacrylamide* terhadap penyakit sistem saraf seperti alzheimer (Muttucumaru et al., 2016).

Koagulasi-flokulasi adalah salah satu proses pengolahan air yang paling umum digunakan untuk menghilangkan partikel koloid dan bahan organik Levesque et al. (2000) berat molekul *polyacrylamide* yaitu ($106^{-3} \times 10^7$ Da) umumnya digunakan untuk flokulan dalam pengelolaan air minum dan air limbah. Xiong et al. (2018). Aplikasi *polyacrylamide* dapat bertentangan dengan lingkungan, karena limpasan ataupun buangan yang disengaja dapat mencemari lingkungan. Baker et al., (2014) dan Larginho et al. (2014) menyatakan bahwa beberapa penelitian melaporkan peningkatan resiko gangguan ginjal, kanker endometrium, dan kanker ovarium akibat dari terpapar akrilamida. IPCS (1999); WHO (2011); WHO (2017); Xiong et al., (2017); Kotemori et al., (2018) menyatakan bahwa akrilamida bersifat karsinogen, genotoksik, dan neurotoksik bagi manusia.

Produksi satu barel minyak memerlukan tujuh barel air, penggunaan air yang sangat signifikan meningkatkan biaya produksi. Oleh karena itu pada pengeboran minyak penggunaan akrilamida untuk mengurangi banjir, regulator penutup air, regulator fluida pengeboran, dan fluida rekah (Bai et al, 2015). *Polyacrylamide* digunakan juga untuk pemindahan aliran minyak dengan cara menginjeksikan larutan *polyacrylamide* kedalam *reservoir*. Cairan pengeboran membentuk salah satu limbah dari kegiatan eksplorasi dan pengembangan minyak dan gas. Cairan yang diinjeksikan ke laut atau pun di darat dapat mencemari

lingkungan (Seyedmohammadi, 2017). Setiap proses dalam produksi minyak mencemari udara, tanah, dan air. Hal ini merusak keseimbangan ekologis dan ekomomi (Prasad and Anuprakash, 2016).

Industri *pulp and paper* menggunakan akrilamida sebagai serat kertas agar meningkatkan kekuatan tarik kertas. Ikatan hidrogen antara gugus amida *polyacrylamide* dan kelompok hidro dari serat selulosa menjadikan kertas kuat (Wang *et al.*, 2016). Aplikasi *polyacrylamide* industri kertas telah mencemari tanah dan air, lebih lagi kontaminasi dapat disebabkan dari kebocoran reaktor (Kusnin *et al.*, 2015). Industri kertas banyak menggunakan flokulan untuk pengolahan limbah cair dari pabrik *pulp and paper*. Flokulan yang tercemar akrilamida masuk dalam saluran air sehingga mencemari air permukaan dan air tanah (Wong *et al.*, 2006; Sudarshan *et al.*, 2017).

Aplikasi akrilamida dalam industri masih banyak lagi seperti bidang pertanian untuk menurunkan laju erosi tanah, meningkatkan kualitas air, efisiensi penggunaan air, mengurangi limpasan. *Polyacrylamide* juga digunakan untuk menstabilkan lereng yang curam dalam pemotongan jalan raya dan tanah terganggu lainnya (Green and Stott, 2014; Tape Y and Çebi A, 2017). Pada industri tekstil digunakan juga untuk pewarna sintetis, dan pembentukan plastik (Huang *et al.*, 2016). Pencemaran yang dihasilkan sangat merusak lingkungan baik yang mencemari air permukaan atau pun air dalam, yang masuk melalui saluran air, sungai, dan laut.

Penelitian yang dilakukan oleh Kim *et al.* (2017) membuktikan bahwa pekerja yang menggunakan akrilamida dengan konsentrasi tinggi mengalami toksisitas pada kulit dan saraf. Hasil penelitian yang dilakukan pada dua pekerja grouting menunjukkan bahwa paparan akrilamida selama 8 tahun menyebabkan mengalami neurologis sistemik sedangkan selama 10 tahun menyebabkan ataksia serebelar dan neuropati perifer. Paparan akrilamida pada kedua pekerja tersebut terjadi melalui kontak kulit, inhalasi debu dan uap. Oleh karena itu penggunaan alat pelindung diri sangat penting agar resiko terpapar akrilamida dapat di tekan.

3.2. Akrilamida dan Resiko Kanker

Program penelitian regional dan global beban penyakit (GBD) kanker (2015), menyebutkan bahwa kanker adalah penyebab kematian nomor dua di dunia. Kumar *et al.* (2018) menyatakan bahwa negara-negara dengan penghasilan tinggi memiliki tingkat kejadian tinggi kanker paru-paru kolorektal, kanker payudara, dan kanker prostat. Sementara di negara-negara dengan penghasilan rendah memiliki kejadian tinggi yaitu kanker lambung, kanker hati, kanker mulut, dan kanker serviks. GBD kanker (2018) mempublikasikan pada tahun 2016 ada 17,2 juta kasus kanker di seluruh dunia dengan 8,9 juta kematian. Lebih lagi telah terjadi kasus kanker meningkat 28% antara tahun 2006–2016.

Studi pada tikus dan hewan laboratorium lainnya telah membuktikan bahwa paparan akrilamida menyebabkan rusaknya sel di sistem saraf, reproduksi, dan menghasilkan tumor di jaringan responsif tertetu (LoPachin, 2004). Penelitian yang dilakukan pada ikan mas memperlihatkan terjadi kerusakan DNA setelah ikan tersebut terpapar akrilamida selama 96 jam dengan dosis akrilamida 10 dan 20 mg/liter (Tan *et al.*, 2013). Akrilamida menyebabkan mutasi meiotik pada sel-sel benih tikus yang diuji lokus spesifik morfologis. Keturunan tikus yang terpapar akrilamida selama 10–12 hari juga menginduksi bintik–bintik relevansi genetik, indikasi mutasi titik atau kehilangan kromosom /rekombinasi somatik. Percobaan lain pada tikus menunjukan hewan yang menerima akrilamida pada dosis 500 mg/liter dalam air minumnya selama 3–4 minggu memiliki peningkatan yang signifikan dalam frekuensi mutagen, 21 hari setelah akhir percobaan (Besaratina and Pfeifer, 2007).

Pembentukan akrilamida pada makanan, dapat terjadi ketika bahan makanan seperti kentang, sereal, kopi, pasta dan lain-lain dipanaskan diatas 120 °C, semakin lama waktu pemanasan maka akan banyak akrilamida terbentuk. Akan tetapi akrilamida akan menurun jika dipanaskan di suhu 180 °C. Sehingga terbentuknya senyawa akrilimida pada makanan tergantung pada kandungan karbohidrat dari makanan tersebut, suhu, dan lama memasak. Oleh karena itu sangat penting untuk mengurangi konsumsi makanan yang terlalu lama/sering dipanaskan, agar mengurangi konsumsi akrilamida yang terbentuk pada reaksi maillard (Sojka *et al.*, 2007; Besaratina and Pfeifer, 2007; Tape Y and Çebi A, 2017; Muttucumaru *et al.*, 2017). Penting untuk memanipulasi kondisi pemrosesan seperti waktu dan suhu proses pemanasan, dan termasuk perawatan pemanasan awal tertentu seperti perendaman dan pencelupan pada air es, selanjutnya dapat mengurangi pembentukan akrilamida. Tingginya paparan akrilamida dan pengenalan efek toksik,

diperlukan terutama di negara-negara berkembang di mana kesadaran tentang risiko kesehatan masih sangat rendah (Rifai dan Saleh, 2020).

Manusia sering terpapar akrilamida baik dari makanan dan tembakau rokok. Hasil penelitian Zhivagui *et al.*, (2019) menunjukkan bahwa mutasi glikidamid ditemukan dalam sepertiga dari sekitar 1.600 genom tumor yang sesuai dengan 19 jenis tumor manusia dari 14 organ. Selain itu, pengayaan kehadiran glikidamid yang diamati pada kanker paru-paru (88%), tumor hati (73%), ginjal (> 70%), saluran empedu (57%), leher rahim (50%), dan pada tingkat lebih rendah, jenis kanker tambahan. Secara keseluruhan, mengungkapkan kontribusi ekstensif tak terduga dari mutagenesis terkait akrilamida pada kanker pada manusia. Hogervorst *et al.*, (2016) menyatakan berdasarkan penelitian yang melibatkan 62.573 wanita berusia 55–69 tahun, diet akrilamida pada sub kelompok kasus kanker ovarium 252. Selain itu, terdapat interaksi multipikasi antara asupan akrilamida dan nukleotida tunggal polimorfisme. Akrilamida dapat menyebabkan kanker ovarium melalui efek pada hormon seks.

Penelitian yang dilakukan oleh Crawford *et al.*, (2019) membuktikan bahwa makanan yang dipanaskan mengandung akrilamida. Kentang dan sorgum adalah jenis makanan yang banyak mengandung akrilamida yaitu secara berurutan adalah 470 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) dan 153 ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Mekanisme akrilamida terbentuk dari makanan bertepung/karbohidrat yang dipanaskan pada suhu 120 °C (Sojka *et al.*, 2007).

4. KESIMPULAN

Pencemaran akrilamida dapat terjadi melalui air tanah dan air permukaan akibat penggunaan akrilamida di berbagai bidang industri. Dampak negatif dari terpapar akrilamida yaitu gangguan sistem saraf seperti alzheimer, gangguan sistem reproduksi, gangguan genetik, penyakit tumor, hingga berbagai jenis penyakit kanker lainnya.

Mekanisme pada terjadinya penyakit kanker akibat dari akrilamida yaitu terjadinya mutasi genesis hingga terjadi interaksi multiplikasi antara asupan akrilamida dan nukleotida tunggal polimorfisme.

SARAN

Supaya terhindar dari terpaparnya akrilamida maka perlu dilakukan identifikasi awal sumber penyebab terjadinya pencemaran akrilamida. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk melakukan identifikasi sumber-sumber utama penyebab pencemaran akrilamida.

DAFTAR PUSTAKA

- [EPA] Environmental Protection Agency .2016. Drinking water contaminants—standards and regulations. US Environ. Prot. Agency
- [GBD] Global Burden of Disease Cancer Collaboration, 2015. Global, Regional, and National Cancer Incidence, Mortality, Years of Life Lost, Years Lived With Disability, and Disability-Adjusted Life-years for 32 Cancer Groups, 1990 to 2015 A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study. *JAMA Oncol.* 3 (4) 524–548. doi: 10.1001/jamaoncol.2016.5688.
- [GBD] Global Burden of Disease Cancer Collaboration, 2018. Global, Regional, and National Cancer Incidence, Mortality, Years of Life Lost, Years Lived With Disability, and Disability-Adjusted Life-Years for 29 Cancer Groups, 1990 to 2016 A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study. *JAMA Oncol.* 4 (11) 1533–1568. doi: doi:10.1001/jamaoncol.2018.2706.
- [IPCS] International Programme on Chemical Safety, 1999. Acrylamide. Geneva, Swiss. (Dapat di akses: <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim652.htm>).
- [WHO] World Health Organization, 2011. Acrylamide in Drinking-water. WHO/SDE/03.04/71/Rev/1. Geneva; Swiss.
- [WHO] World Health Organization, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth Edition Incorporating The First Addendum. Geneva; Swiss.
- Bai B. Zhou J. Yin M, 2015. A comprehensive review of polyacrylamide polymer gels for conformance control. *Elsevier.* 42 (4) 525–532. doi: 10.1016/S1876-3804 (15)30045-8.

- Baker M K V. Nagy T R. Barnes S. Groopman J, 2014. Dietary Acrylamide and Human Cancer: A Systematic Review of Literature. *Nutr Cancer*. 66 (5) 774–790. doi: 10.1080/01635581.2014.916323.
- Besaratinia A. Pfeifer G P, 2007. A review of mechanisms of acrylamide carcinogenicity. *Carcinogenesis*. 28 (3) 519–528. doi: 10.1093/carcin/bgm006.
- Crawford L M. Kahlon T S. Chiu M C M. Wang S . Friedman M, 2019. Acrylamide Content of Experimental and Commercial Flatbreads. *Food Science*. doi: 10.1111/1750-3841.14456.
- Green V S. Stott D E. Polyacrylamide: A Review of the Use, Effectiveness, and Cost of a Soil Erosion Control Amendment. 10th International Soil Conservation Organization. 384-389.
- Hogervorst J G F. Brandt P A V D. Godschalk R W L. Schooten F J V. Schouten L J, 2017. Interactions between dietary acrylamide intake and genes for ovarian cancer risk. *Springer*. 32 (5) 431–441. doi: 10.1007/s10654-017-0244-0.
- Huang X. Zhao Y. Gao B. Sun S, Wang Y. Li Q. Yue Q, 2016. Polyacrylamide as coagulant aid with polytitanium sulfate in humic acid-kaolin water treatment: Effect of dosage and dose method. *Elsevier*. 64 173–179. doi: 10.1016/j.jtice.2016.04.011.
- Kim H. Lee S G. Rhie J, 2017. Dermal and neural toxicity caused by acrylamide exposure in two Korean grouting workers: a case report. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*. 29:50.
- Kotemori A. Ishihara J. Nakadate M. Sawada N. Iwasaki M, 2018. Validity of a Self-administered Food Frequency Questionnaire for the Estimation of Acrylamide Intake in the Japanese Population: The JPHC FFQ Validation Study. *J Epidemiol*. 28 (12). 482–487. doi: 10.2188/jea.JE20170186.
- Kotemori N. Powers S J. Elmore J S. Dodson A. Briddon A. Mottram D S. Halford N G, 2017. Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation. *Elsevier*. 220. 76–86. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.09.199.
- Kumar J. Das S. Teoh S L, 2018. Dietary Acrylamide and the Risks of Developing Cancer: Facts to Ponder. *frontiers in Nutrition*. 5 (14) doi: 10.3389/fnut.2018.00014.
- Kusnin N. Syed M A. Ahmad S A, 2015. Toxicity, Pollution and Biodegradation of Acrylamide – A Mini Review. *Hibiscus*. 3 (2) 6–12.
- Larguinho M. Cordeiro A. Diniz M S. Costa P M. Baptista P V, 2014. Metabolic and histopathological alterations in the marine bivalve *Mytilus galloprovincialis* induced by chronic exposure to acrylamide. *Elsevier*. 135. (55–62). doi: 10.1016/j.envres.2014.09.004.
- Levesque L. Mizzen C A. McLachlan D R. Fraser P E, 2000. Ligand specific effects on aluminum incorporation and toxicity in neurons and astrocytes. *Elsevier*. 877. 191–202. doi: 10.1016/S0006-8993(00)02637-8.
- LoPachin R M, 2004. The Changing View of Acrylamide Neurotoxicity. *Elsevier*. 25 617–630. doi: 10.1016/j.neuro.2004.01.004
- Muggeridge A. Cockin A. Webb K. Frampton H. Collins I. Moulds T. Salino P, 2014. Recovery rates, enhanced oil recovery and technological limits. *The Royal Society*. doi:10.1098/rsta.2012.0320.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum. Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- Prasad R G. Anuprakash M V V S, 2016. Pollution Due to Oil Spills in Marine Environment And Control Measures. *IOSR*. 10 (9) 1–8. doi: 10.9790/2402-1009010108.
- Rifai L, Saleh F A, 2020. A Review on Acrylamide in Food: Occurrence, Toxicity, and Mitigation Strategies. *SAGE*. doi: 10.1177/1091581820902405.
- Santacana M O. Freisling H. Peeters P H. Barroso L L. Ferrari P. Ruault M S B. Mesrine S. Baglietto L. Fortner R T. Katzke V A. et al., 2016. Acrylamide and glycidamide hemoglobin adduct levels and endometrial cancer risk: A nested case-control study in nonsmoking postmenopausal women from the EPIC cohort. *Int J Cancer*. 138 1129–1138.
- Syedmohammadi J, 2017. The effects of drilling fluids and environment protection from pollutants using some models. *Springer*. 3 (23). doi: 10.1007/s40808-017-0299-7.
- Sojka, R. E., Bjerneberg, D. L., Entry, J. A., Lentz, R. D., & Orts, W. J. (2007). Polyacrylamide

- in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy*, 92, 75–162.
- Taeymans D. Wood J. Ashby P. Blank I. Studer A. Stadler R H. Gonde P. EIJCK P. Lallje S. Lingnert H. Lindblom M. Matissek R. Muller D. Tallmadge D. O'brien J. Thompson S. Silvani D. Whitmore T, 2004. Taylor and Francis. 44 (5) 323–347. Doi: 10.1080/10408690490478082.
- Tan D. Li L. Wang S. Wei B. Zhang X. Sun B. Ji S, 2013. The cytogenetic effects of acrylamide on *Carassius auratus* periperial blood cells. Elsevier. 62. 318–233. doi: 10.1016/j.fct.2013.08.077.
- Tape Y, 2016. Acrylamide in Surface and Drinking Water. Elsevier. 275–293. doi: 10.1016/B978-0-12-802832-2.00014-0
- Tepe, Y., & Çebi, A. (2019). Acrylamide in environmental water: a review on sources, exposure, and public health risks. *Exposure and Health*, 11(1), 3–12.
- Sudarshan K. Maruthaiya K. Kotteeswaran P. Murugan A, 2017. Reuse the pulp and paper industry wastewater by using fashionable technology. Springer. 7. 3317–3322. doi: 10.1007/s13201-016-0477-1.
- Tape Y. Çebi A, 2017. Acrylamide in Environmental Water: A Review on Sources, Exposure, and Public Health Risks. Springer. doi: 10.1007/s12403-017-0261-y.
- Wang S. Sun Y. Kong F. Yang G. Fatehi P, 2016. Preparation and Characterization of Lignin-Acrylamide Copolymer as a Paper Strength Additive. *BioResources*. 11 (1). 1765–1783. doi: 10.15376/biores.11.1.1765-1783.
- Weston D P. Lentz R D. Chan M D. Ogle R S. Rothert A K. Lydy M J, 2009. Toxicity of Anionic Polyacrylamide Formulations when Used for Erosion Control in Agriculture. *J Environ Qual*. 38. 238–247. doi:10.2134/jeq2008.0109.
- Wong S S. Teng T T. Ahmad A L. Zuhairi A. Najafpour G, 2006. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. Elsevier. 135 378–388 doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.076.
- Xiong B. Loss R D. Pawlik T. Hochreiter R. Zydney A L, 2018. Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *Nature*. 1 (17). doi: :10.1038/s41545-018-0016-8.
- Xiong Z. Li B. Li L. Wan L. Peng X. Yin Y, 2017. Effect of Selected Mercapto Flavor Compounds on Acrylamide Elimination in a Model System. *Molecules*. 22 (888). doi: 10.3390/molecules22060888.
- Zhivagui M. Ng A W T. Ardin M. Churchwell M I. Pandey M. Renard C. Villar S. Cahais V. Robitaille A. Bouaoun L. Heguy A. Guyton K Z. Stampfer M R. McKay J. Hollstein M. Olivier M. Rozen S G. Beland F A. Korenjak M. Zavadil J, 2019. Experimental and pan-cancer genome analyses reveal widespread contribution of acrylamide exposure to carcinogenesis in humans. *Genome Research*. 29 (4), 521–531 doi: 10.1101/gr.242453.118.