

DETERMINAN GEOGRAFIS DAN JENIS KELAMIN TERHADAP KEJADIAN NEOPLASMA: STUDI *CROSS-SECTIONAL*

Aswa Arsa Kumala¹, Yusuf Alam Romadhon^{2*}

Fakultas Kedokteran, Universitas Muhammadiyah Surakarta¹.

Departemen Ilmu Kedokteran Keluarga, Fakultas Kedokteran, Universitas Muhammadiyah Surakarta²

Universitas Muhammadiyah Surakarta

*Corresponding Author : yar245@ums.ac.id

ABSTRAK

Neoplasma merupakan masalah kesehatan global dengan beban penyakit yang terus meningkat, terutama di daerah transisi industri-agrikultur. Penelitian mengenai pengaruh faktor geografis dan jenis kelamin terhadap kejadian neoplasma di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh luas sawah, kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo, dan jenis kelamin terhadap kejadian neoplasma di Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo. Penelitian menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional study*. Populasi penelitian adalah masyarakat yang tercatat dalam database SIMPUS Grogol periode Januari-Desember 2024. Teknik sampling menggunakan *total sampling* dengan jumlah responden 1.827 orang. Variabel independen meliputi luas sawah, kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo, dan jenis kelamin, sedangkan variabel dependen adalah kejadian neoplasma berdasarkan kode ICD-10 C00-D48.9. Analisis data menggunakan uji *Chi-Square* untuk analisis bivariat dan regresi logistik biner untuk analisis multivariat dengan SPSS. Hasil penelitian menunjukkan prevalensi neoplasma sebesar 30,6%. Analisis multivariat menunjukkan jenis kelamin perempuan memiliki risiko neoplasma 2,731 kali lebih tinggi dibandingkan laki-laki (AOR=2,731; 95% CI: 2,183-3,416; $p<0,001$). Kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo menunjukkan efek protektif dengan penurunan risiko sebesar 36,2% (AOR=0,638; 95% CI: 0,509-0,799; $p<0,001$). Luas sawah tidak menunjukkan hubungan signifikan dalam analisis multivariat (AOR=1,168; 95% CI: 0,923-1,477; $p=0,196$). Jenis kelamin perempuan merupakan faktor risiko dominan untuk neoplasma di daerah transisi industri-agrikultur. Diperlukan pendekatan pencegahan kanker yang sensitif jenis kelamin dan penguatan sistem surveilans kesehatan berbasis komunitas di wilayah berisiko tinggi.

Kata kunci: jenis kelamin, kedekatan sungai, luas sawah, neoplasma, transisi industri-agrikultur

ABSTRACT

Neoplasm is a global health problem with an increasing disease burden, especially in industrial-agricultural transition areas. Research on the influence of geographical factors and gender on neoplasm incidence in Indonesia remains limited. This study aimed to analyze the influence of paddy field area, proximity to Bengawan Solo River, and gender on neoplasm incidence in Grogol District, Sukoharjo Regency. This study used an analytical observational design with a cross-sectional approach. The study population consisted of people registered in the SIMPUS Grogol database from January to December 2024. The sampling technique used total sampling with 1,827 respondents. Independent variables included paddy field area, proximity to Bengawan Solo River, and gender, while the dependent variable was neoplasm incidence based on ICD-10 codes C00-D48.9. Data analysis used Chi-Square test for bivariate analysis and binary logistic regression for multivariate analysis with SPSS. The results showed a neoplasm prevalence of 30.6%. Multivariate analysis revealed that females had 2.731 times higher risk of neoplasm compared to males (AOR=2.731; 95% CI: 2.183-3.416; $p<0.001$). Proximity to Bengawan Solo River showed a protective effect with a 36.2% risk reduction (AOR=0.638; 95% CI: 0.509-0.799; $p<0.001$). Paddy field area did not show a significant relationship in multivariate analysis (AOR=1.168; 95% CI: 0.923-1.477; $p=0.196$). Female gender is the dominant risk factor for neoplasm in industrial-agricultural transition areas. Gender-sensitive cancer prevention approaches and strengthening community-based health surveillance systems in high-risk areas are needed.

Kata kunci: gender, industrial-agricultural transition, neoplasm, paddy field area, river proximity

PENDAHULUAN

Neoplasma merupakan masalah kesehatan global dengan beban yang terus meningkat. Data GLOBOCAN 2022 mencatat 19.976.499 kasus baru dengan 9.743.832 kematian di seluruh dunia (Global Cancer Observatory, 2022), sementara prevalensi di Indonesia mencapai 1,2‰ atau sekitar 324.000 jiwa (BKPK Kemenkes RI, 2023). Peningkatan ini mengkhawatirkan, terutama di daerah dengan perubahan lingkungan drastis akibat aktivitas industri dan pertanian intensif.

Neoplasma adalah massa jaringan abnormal yang tumbuh berlebihan dan tidak terkoordinasi dengan jaringan normal (Sriharikrishnaa et al., 2023). Pertumbuhan ini dapat bersifat jinak maupun ganas. Neoplasma ganas memiliki kemampuan menginvasi jaringan sekitar dan bermetastasis (Bisoyi, 2022).

Patogenesis neoplasma melibatkan peristiwa molekuler dan seluler kompleks yang mengarah pada transformasi keganasan. Neoplasma timbul dari akumulasi mutasi genetik dan perubahan epigenetik yang mengganggu kontrol pertumbuhan sel normal (Bhartiya et al., 2024). Proses ini dimulai dari inisiasi sel, promosi pertumbuhan tidak terkendali, hingga progresi menjadi neoplasma invasif dan metastatik (Liu et al., 2024).

Faktor risiko neoplasma bersifat multifaktorial, melibatkan interaksi predisposisi genetik dan paparan lingkungan (Cani et al., 2023). Paparan zat karsinogenik seperti bahan kimia industri, polutan udara, dan pestisida berkontribusi signifikan terhadap perkembangan neoplasma (Silva et al., 2025). Wilayah sepanjang Sungai Bengawan Solo dengan kepadatan industri tekstil dan aktivitas pertanian intensif menciptakan potensi paparan ganda terhadap karsinogen lingkungan (Ajayi & Ogunjobi, 2025).

Penggunaan bahan kimia pertanian menjadi perhatian serius dalam karsinogenesis lingkungan. Luas sawah intensif melibatkan penggunaan pestisida dan pupuk kimia dalam jumlah besar yang dapat merusak DNA dan mengganggu sistem tubuh (Ahmad et al., 2024). Studi menunjukkan hubungan paparan pestisida dengan peningkatan risiko neoplasma limfohematopoietik, prostat, dan payudara, serta pupuk kimia yang mengandung nitrat dapat diubah menjadi senyawa N-nitroso yang merupakan karsinogen kuat (Cavalier et al., 2023). Daerah dengan luas sawah yang besar berpotensi menyebabkan paparan kronis bagi masyarakat sekitar melalui kontaminasi tanah, air, dan udara (Sahu et al., 2025).

Kontaminasi air oleh limbah industri seperti logam berat dan limbah pertanian yang mengandung residu pestisida dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat (Soleimani et al., 2023). Paparan jangka panjang terhadap air minum yang terkontaminasi arsenik dan nitrat dapat meningkatkan risiko neoplasma (Donat-Vargas et al., 2023).

Teori *multi-hit carcinogenesis* menjelaskan bahwa perkembangan neoplasma merupakan proses bertahap yang memerlukan akumulasi beberapa perubahan genetik pada sel (Donev, 2021). Akumulasi paparan meningkatkan probabilitas transformasi neoplasma, terutama pada masyarakat yang tinggal di daerah dengan luas sawah ekstensif dan dekat sungai tercemar (Zakaria et al., 2021). Konsep *environmental justice* menekankan bahwa yang terpinggirkan secara sosial dan ekonomi sering menanggung beban paparan karsinogen lingkungan secara tidak proporsional (Fahira & Athirah, 2025).

Jenis kelamin berperan sebagai faktor risiko dengan pola distribusi neoplasma yang berbeda antara laki-laki dan perempuan (Rubin, 2022). Secara umum, laki-laki memiliki insiden neoplasma yang lebih tinggi untuk sebagian besar jenis neoplasma non-spesifik jenis kelamin. Di samping itu, perempuan memiliki insiden lebih tinggi pada neoplasma payudara, serviks, dan ovarium (Li et al., 2025). Perbedaan ini dipengaruhi oleh interaksi faktor biologis, genetik, hormonal, lingkungan, dan sosial (Allegra et al., 2023).

Penelitian mengenai pengaruh faktor geografis dan jenis kelamin terhadap kejadian neoplasma di daerah transisi industri-agrikultur masih terbatas di Indonesia. Penelitian ini

menganalisis pengaruh luas sawah, kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo, dan jenis kelamin terhadap kejadian neoplasma di Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo. Hasil penelitian diharapkan memberikan data empiris untuk mendukung kebijakan kesehatan masyarakat dan intervensi preventif berbasis faktor risiko lingkungan dan jenis kelamin di wilayah berisiko tinggi.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional* untuk menganalisis pengaruh luas sawah, kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo, dan jenis kelamin terhadap kejadian neoplasma. Lokasi dipilih karena merupakan daerah transisi industri-agrikultur yang dilintasi Sungai Bengawan Solo. Populasi penelitian adalah masyarakat yang berdomisili di Kecamatan Grogol dan tercatat dalam database SIMPUS Grogol.

Peneliti menggunakan teknik *total sampling* dengan kriteria inklusi: tercatat dalam SIMPUS periode Januari-Desember 2024, memiliki alamat dan data diagnosis lengkap yang dapat diverifikasi, serta berdomisili di Kecamatan Grogol. Kriteria eksklusi meliputi data rekam medis tidak lengkap dan alamat di luar wilayah Kecamatan Grogol. Estimasi besar sampel menggunakan rumus uji hipotesis dua proporsi. Tingkat signifikansi ditetapkan $\alpha=0,05$ dan *power* 80%, menghasilkan minimal 90 responden untuk tiga variabel independen.

Variabel independen meliputi: (1) luas sawah: proporsi luas persawahan per desa dari data BPS, dikategorikan $<75^{\text{th}}$ percentile vs $\geq 75^{\text{th}}$ percentile; (2) kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo: wilayah tidak dilalui vs dilalui sungai berdasarkan Google Earth™; (3) jenis kelamin: laki-laki vs perempuan dari rekam medis. Variabel dependen adalah kejadian neoplasma yang dikategorikan tidak neoplasma vs neoplasma berdasarkan kode ICD-10 C00–D48.9 dari rekam medis SIMPUS.

Peneliti mengekstraksi data dari SIMPUS menggunakan lembar ekstraksi Microsoft Excel, mencakup identitas pasien, kode diagnosis ICD-10, dan alamat. Data luas sawah diperoleh dari publikasi BPS tingkat desa. Kedekatan sungai diverifikasi menggunakan Google Earth™ untuk memastikan akurasi kategorisasi wilayah.

Analisis data menggunakan SPSS dengan tahapan berikut. Pertama, analisis univariat dilakukan untuk mendeskripsikan distribusi frekuensi setiap variabel. Kedua, analisis bivariat menggunakan uji *Chi-Square* untuk menguji hubungan masing-masing variabel independen dengan kejadian neoplasma; *crude odds ratio* (OR) dan 95% *confidence interval* (CI) dihitung dengan tingkat signifikansi $p<0,05$. Ketiga, analisis multivariat menggunakan regresi logistik biner dengan metode *backward elimination* untuk variabel dengan $p<0,25$ pada analisis bivariat; jenis kelamin dipertahankan sebagai *forced entry*. *Adjusted odds ratio* (AOR) dihitung dengan 95% CI dan signifikansi $p<0,05$. Kesesuaian model dinilai dengan *Hosmer-Lemeshow test* ($p>0,05$) dan kekuatan prediktif menggunakan *Nagelkerke R²*. Multikolinearitas diperiksa menggunakan *Variance Inflation Factor* ($VIF<10$).

Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan RSUD Dr. Moewardi dan Kepala Dinas Kesehatan Kabupaten Sukoharjo. Prinsip etika yang dipenuhi meliputi *confidentiality* (kerahasiaan identitas dengan kode), *anonymity* (tanpa identitas personal dalam publikasi), *data protection* (keamanan data), dan *beneficence* (manfaat untuk ilmu kesehatan masyarakat).

HASIL

Karakteristik Responden

Penelitian ini melibatkan 1.827 responden di daerah transisi industri-agrikultur. Karakteristik responden berdasarkan variabel yang diteliti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Responden Penelitian (n = 1.827)

Variabel	Atribut/mean [SD]	Σ	%
Luas sawah	< 75 <i>percentile</i> (rendah)	1.274	69.7
	$\geq$ 75 <i>percentile</i> (tinggi)	553	30.3
Kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo	Tidak berbatasan	1.006	55.1
	Berbatasan	821	44.9
Jenis Kelamin	Laki-laki	729	39.9
	Perempuan	1.098	60.1
Diagnosis	Normal	1.268	69.4
	Neoplasma	559	30.6

Berdasarkan Tabel 1, mayoritas responden memiliki luas sawah rendah (< 75 *percentile*) sebanyak 1.274 orang (69,7%), tidak berbatasan dengan Sungai Bengawan Solo sebanyak 1.006 orang (55,1%), dan berjenis kelamin perempuan sebanyak 1.098 orang (60,1%). Dari total responden, 559 orang (30,6%) terdiagnosis neoplasma.

Analisis Bivariat dan Multivariat dari Faktor Risiko

Analisis hubungan antara variabel independen (luas sawah, kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo, dan jenis kelamin) dengan variabel dependen (kejadian neoplasma) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Bivariat dan Multivariat Pengaruh Luas Sawah, Kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo, dan Jenis Kelamin terhadap Kejadian Neoplasma (n = 1.827)

Variabel	Normal (n=)/ Σ [%]	Neoplasma (n=)/ Σ [%]	Bivariat		Multivariat	
			OR (95% CI)	P	OR (95% CI)	P
Kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo						
Tidak berbatasan (ref)	651 (64,7%)	355 (35,3%)	0,606 (0,494 – 0,744)	< 0,001	0,638 (0,509 – 0,799)	< 0,001
Berbatasan	617 (75,2%)	204 (24,8%)				
Luas Sawah						
< 75 <i>percentile</i> (ref)	914 (71,7%)	360 (28,3%)	1,427 (1,154 – 1,765)	0,001	1,168 (0,923 – 1,477)	0,196
$\geq$ 75 <i>percentile</i>	354 (64,0%)	199 (36,0%)				
Jenis Kelamin						
Laki-laki (ref)	593 (81,3%)	136 (18,7%)	2,732 (2,187 – 3,413)	< 0,001	2,731 (2,183 – 3,416)	< 0,001
Perempuan	675 (61,5%)	423 (38,5%)				

Analisis Bivariat

Hasil analisis bivariat menggunakan uji *chi-square* menunjukkan bahwa ketiga variabel independen memiliki hubungan signifikan dengan kejadian neoplasma ($p < 0,05$).

Responden yang berbatasan dengan Sungai Bengawan Solo memiliki *odds ratio* (OR) 0,606 (95% CI: 0,494-0,744; $p < 0,001$), menunjukkan bahwa kedekatan dengan sungai merupakan faktor protektif terhadap kejadian neoplasma dengan penurunan risiko sebesar 39,4%.

Responden dengan luas sawah tinggi ($\geq$ 75 *percentile*) memiliki OR 1,427 (95% CI: 1,154-1,765; $p = 0,001$), menunjukkan peningkatan risiko neoplasma sebesar 1,4 kali dibandingkan dengan responden yang memiliki luas sawah rendah. Jenis kelamin perempuan memiliki OR 2,732 (95% CI: 2,187-3,413; $p < 0,001$), menunjukkan risiko neoplasma 2,7 kali lebih tinggi dibandingkan laki-laki.

Analisis Multivariat

Analisis multivariat menggunakan regresi logistik menunjukkan model yang signifikan dengan nilai *Nagelkerke R²* sebesar 0,082, yang berarti ketiga variabel independen dapat menjelaskan 8,2% variasi kejadian neoplasma. Uji *Hosmer-Lemeshow* menunjukkan model *fit* dengan baik ($p > 0,05$).

Setelah dikontrol dengan variabel lainnya, kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo tetap menunjukkan hubungan signifikan dengan kejadian neoplasma (*adjusted* OR = 0,638; 95% CI: 0,509-0,799; $p < 0,001$). Responden yang berbatasan dengan sungai memiliki risiko neoplasma 36,2% lebih rendah dibandingkan yang tidak berbatasan.

Jenis kelamin perempuan tetap merupakan faktor risiko signifikan dengan *adjusted* OR 2,731 (95% CI: 2,183-3,416; $p < 0,001$), menunjukkan risiko neoplasma 2,7 kali lebih tinggi dibandingkan laki-laki setelah dikontrol variabel lainnya.

Namun, luas sawah tidak menunjukkan hubungan signifikan dalam analisis multivariat (*adjusted* OR = 1,168; 95% CI: 0,923-1,477; $p = 0,196$) setelah dikontrol dengan variabel kedekatan dengan sungai dan jenis kelamin.

PEMBAHASAN

Penelitian *cross-sectional* ini menemukan asosiasi signifikan antara jenis kelamin dan kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo terhadap kejadian neoplasma di daerah transisi industri-agrikultur. Di sisi lain, luas sawah tidak menunjukkan hubungan independen setelah dikontrol dengan variabel lainnya. Temuan ini menunjukkan kompleksitas interaksi antara faktor lingkungan, pekerjaan, dan biologis dalam karsinogenesis di wilayah dengan transformasi ekonomi, meskipun desain studi tidak memungkinkan kesimpulan kausal.

Jenis kelamin sebagai Faktor Risiko Dominan

Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa perempuan memiliki risiko neoplasma 2,7 kali lebih tinggi dibandingkan laki-laki (*adjusted* OR = 2,731; $p < 0,001$). Disparitas jenis kelamin ini konsisten dengan temuan epidemiologi kanker global yang menunjukkan perbedaan kerentanan berdasarkan jenis kelamin. Perbedaan fisiologis antara jenis kelamin dapat menjelaskan disparitas insiden kanker tertentu, termasuk peran hormon seks dalam tumorigenesis dan kerentanan kanker (Haupt et al., 2021). Namun, perlu dicatat bahwa penelitian ini tidak membedakan jenis neoplasma berdasarkan kategori hormon-dependent dan non-hormonal, sehingga interpretasi mekanisme spesifik harus dilakukan dengan hati-hati.

Hormon seks memainkan peran penting dalam inisiasi, progresi, dan hasil pengobatan kanker. Hal itu terjadi melalui beberapa mekanisme yang memengaruhi pembaruan sel induk kanker, mikrolingkungan tumor, sistem kekebalan, dan metabolisme (Cosci et al., 2025). Perbedaan respons imun antara jenis kelamin juga berkontribusi pada disparitas kanker. Perempuan umumnya memiliki respons imun yang lebih kuat namun juga lebih rentan terhadap disregulasi imun (Allegra et al., 2023).

Mekanisme respon imun secara biologis *plausible* menjelaskan temuan penelitian, meskipun tidak diukur langsung dalam studi ini. Dalam konteks penelitian ini, proporsi perempuan yang lebih tinggi (60,1%) dalam sampel menunjukkan representasi demografi yang realistis dari populasi pedesaan di daerah transisi industri-agrikultur.

Efek Protektif Kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo

Temuan paradoksal dalam penelitian ini adalah efek protektif dari kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo terhadap kejadian neoplasma (*adjusted* OR = 0,638; $p < 0,001$). Hasil ini bertentangan dengan ekspektasi awal bahwa kedekatan dengan sungai di daerah industri akan meningkatkan risiko kanker akibat paparan polutan air. Hal ini harus ditafsirkan dengan

sangat hati-hati mengingat tidak adanya pengukuran langsung kualitas air individual dan data status sosial-ekonomi dalam penelitian ini.

Beberapa penjelasan spekulatif dapat dikemukakan untuk fenomena ini. Pertama, meskipun Sungai Bengawan Solo mengalami pencemaran dari aktivitas industri dan domestik, populasi yang berbatasan dengan sungai mungkin memiliki akses yang lebih baik ke sumber air alternatif atau sistem pengolahan air yang lebih memadai. Penelitian kualitas air menunjukkan bahwa meskipun Bengawan Solo menghadapi masalah pencemaran dari pertumbuhan industri dan pemukiman penduduk di bantaran sungai, status pencemaran masih berada pada tingkat moderat (Wibisono et al., 2021).

Kedua, komunitas yang berbatasan dengan sungai besar seperti Bengawan Solo cenderung memiliki infrastruktur yang lebih baik, termasuk akses ke layanan kesehatan dan pendidikan kesehatan lingkungan. Kesadaran masyarakat tentang risiko polusi air mungkin lebih tinggi di daerah riparian, mendorong perilaku pencegahan seperti penggunaan air bersih dari sumber terlindungi atau pengolahan air yang lebih baik (Zikargae et al., 2022).

Ketiga, area riparian Bengawan Solo mungkin memiliki karakteristik demografi dan sosio-ekonomi yang berbeda dari daerah non-riparian. Masyarakat di area ini mungkin memiliki diversifikasi mata pencaharian yang lebih besar, tidak hanya bergantung pada pertanian sawah, sehingga mengurangi paparan pestisida pertanian secara langsung (Rendrarpoetri et al., 2024).

Studi kohort prospektif di China menemukan bahwa peserta yang mengonsumsi air keran memiliki risiko kanker esofagus lebih rendah dibandingkan mereka yang menggunakan sumber air permukaan (Yang et al., 2023). Namun, interpretasi ini harus dilakukan dengan hati-hati. Data hidrologi dari Badan Pengelola DAS Bengawan Solo menunjukkan bahwa tingkat pencemaran air berkisar dari ringan hingga berat di enam pos pemantauan, dengan kualitas air terus menurun di bawah ambang normal selama musim kemarau (Sri Wahyu Kusumastuti et al., 2021). Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan pengukuran langsung paparan kontaminan spesifik untuk memvalidasi temuan ini.

Luas Sawah dan Paparan Pestisida Pertanian

Hasil bivariat menunjukkan bahwa luas sawah $\geq 75^{\text{th}}$ *percentile* meningkatkan risiko neoplasma sebesar 1,4 kali ($p = 0,001$). Temuan ini konsisten dengan literatur ekstensif yang menghubungkan paparan pestisida pertanian dengan peningkatan risiko kanker. Bukti terkuat untuk hubungan kausal antara paparan pestisida dan kanker ada untuk leukemia mieloid akut dan kanker kolorektal, dengan beberapa studi prospektif berkualitas tinggi dan studi yang menggunakan biomarker untuk penilaian paparan menunjukkan hubungan dosis-respons.

Beberapa studi menunjukkan bahwa dari perspektif epidemiologis, pestisida berpotensi memiliki peran yang sebanding dengan merokok dalam peningkatan risiko kanker tertentu. Kepemilikan sawah yang lebih luas mengimplikasikan penggunaan pestisida yang lebih intensif dan durasi paparan yang lebih panjang, baik melalui aplikasi langsung maupun kontaminasi lingkungan (Gatto et al., 2021). Penelitian pada petani yang terpapar pestisida menunjukkan peningkatan dramatis dalam frekuensi translokasi t(14;18) dalam sel B, yang merupakan prekursor limfoma folikuler, menghubungkan secara langsung paparan pestisida pertanian dengan progresi keganasan (Prathiksha et al., 2023).

Namun, dalam analisis multivariat penelitian ini, hubungan antara luas sawah dan neoplasma menjadi tidak signifikan (*adjusted* OR = 1,168; $p = 0,196$) setelah dikontrol dengan jenis kelamin dan kedekatan dengan sungai. Hilangnya signifikansi statistik ini mengindikasikan beberapa kemungkinan. Pertama, efek luas sawah mungkin dimediasi atau dimodifikasi oleh faktor-faktor lain yang tidak diukur dalam penelitian ini, seperti jenis pestisida spesifik yang digunakan, frekuensi aplikasi, penggunaan alat pelindung diri, atau riwayat paparan kumulatif.

Kedua, luas sawah mungkin merupakan proksi yang kurang presisi untuk paparan pestisida aktual. Tidak semua pemilik sawah luas terlibat langsung dalam aplikasi pestisida, dan sebaliknya, pekerja pertanian dengan kepemilikan lahan kecil atau bahkan tidak memiliki lahan dapat memiliki paparan yang lebih tinggi. Sebagian besar bukti berasal dari populasi yang terpapar secara okupasional atau agrikultur yang lebih tua, dan terkadang studi juga menggunakan metode penilaian paparan dengan keterbatasan penting (Wong & Brown, 2021).

Ketiga, interaksi kompleks antara paparan pestisida dan faktor biologis seperti jenis kelamin mungkin mengaburkan efek independen luas sawah. Diperlukan penelitian lanjutan dengan desain kohort prospektif yang menggunakan biomarker paparan spesifik dan penilaian riwayat paparan yang lebih detail untuk mengklarifikasi hubungan kausal ini.

Konteks Transisi Industri-Agrikultur

Daerah transisi industri-agrikultur menghadapi beban ganda paparan karsinogen, yaitu dari aktivitas pertanian (pestisida, pupuk) dan industrialisasi yang berkembang (polusi air, udara, limbah industri) (Duan et al., 2025). Paparan okupasional terkait jenis kelamin serta faktor risiko perilaku hanya dapat menjelaskan sebagian dari risiko kanker yang lebih tinggi pada kelompok tertentu (Jackson et al., 2022). Kombinasi limbah domestik, industri tekstil dan batik, serta residu pestisida pertanian menciptakan koktail kompleks kontaminan lingkungan (Absori et al., 2023).

Prevalensi neoplasma dalam penelitian ini (30,6%) menunjukkan beban kanker yang substansial di populasi studi. Perlu dicatat bahwa angka ini merupakan prevalensi berbasis fasilitas kesehatan (SIMPUS), bukan prevalensi populasi umum, sehingga berpotensi lebih tinggi akibat selection bias. Angka ini lebih tinggi dibandingkan prevalensi kanker nasional Indonesia, menggarisbawahi urgensi intervensi kesehatan masyarakat di daerah transisi industri-agrikultur. Temuan ini sejalan dengan pola global di mana wilayah dengan pertumbuhan ekonomi cepat dan regulasi lingkungan yang lemah mengalami peningkatan insiden kanker.

Implikasi Kesehatan Masyarakat dan Kebijakan

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting untuk kebijakan kesehatan masyarakat di daerah transisi industri-agrikultur. Pertama, diperlukan pendekatan pencegahan neoplasma yang sensitif jenis kelamin dengan program skrining dan deteksi dini yang diprioritaskan untuk perempuan di wilayah berisiko tinggi. Kedua, meskipun efek protektif kedekatan dengan sungai terlihat, penilaian kualitas air di Sungai Bengawan Solo menggunakan metode STORET menunjukkan mayoritas titik dalam kondisi buruk dengan status tercemar berat (Afifah et al., 2025), sehingga upaya perbaikan kualitas air tetap menjadi prioritas untuk kesehatan jangka panjang masyarakat riparian.

Ketiga, diperlukan regulasi lebih ketat terhadap penggunaan pestisida pertanian, termasuk edukasi petani tentang praktik aman dan promosi pertanian organik (Mergia et al., 2021). Keempat, sistem surveilans neoplasma berbasis komunitas harus dikembangkan untuk monitoring real-time dan identifikasi dini kluster (Ogwu & Izah, 2025).

Keterbatasan dan Arah Penelitian Masa Depan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, penggunaan luas sawah sebagai proksi paparan pestisida memiliki keterbatasan presisi dan belum mengukur biomarker paparan spesifik. Kedua, penelitian tidak mengumpulkan data faktor risiko neoplasma lainnya seperti riwayat merokok, konsumsi alkohol, indeks massa tubuh, riwayat keluarga, dan faktor diet. Ketiga, ukuran sampel mungkin tidak cukup kuat untuk mendeteksi efek yang lebih kecil atau analisis stratifikasi yang lebih detail. Model Nagelkerke R^2 sebesar

0,082 menunjukkan bahwa variabel yang diteliti hanya menjelaskan sebagian kecil variasi kejadian neoplasma, mengindikasikan pentingnya faktor lain yang belum teridentifikasi.

Penelitian masa depan harus mempertimbangkan beberapa arah. Pertama, studi dengan pengukuran langsung kontaminan lingkungan spesifik dalam air, tanah, dan udara di berbagai zona riparian dan non-riparian. Kedua, evaluasi efektivitas intervensi kesehatan masyarakat, seperti program edukasi tentang penggunaan pestisida yang aman atau perbaikan infrastruktur air bersih, dalam mengurangi insiden neoplasma.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis kelamin perempuan merupakan faktor risiko dominan untuk neoplasma di daerah transisi industri-agrikultur, dengan risiko 2,7 kali lebih tinggi dibandingkan laki-laki. Kedekatan dengan Sungai Bengawan Solo menunjukkan efek protektif yang paradoks, kemungkinan dimediasi oleh akses yang lebih baik ke infrastruktur kesehatan dan sumber air alternatif. Luas sawah, meskipun berhubungan positif dengan neoplasma dalam analisis bivariat, tidak menunjukkan efek independen dalam model multivariat, menunjukkan kompleksitas hubungan antara paparan pestisida pertanian dan risiko kanker.

Temuan ini menekankan perlunya pendekatan multi-dimensional dalam pencegahan kanker di daerah transisi industri-agrikultur, yang mengintegrasikan strategi sensitif jenis kelamin, pengendalian pencemaran lingkungan, regulasi pestisida yang lebih ketat, dan penguatan sistem surveilans kesehatan berbasis komunitas. Studi lanjutan dengan desain yang lebih robust dan pengukuran paparan yang lebih presisi diperlukan untuk mengkonfirmasi temuan ini dan mengidentifikasi mekanisme kausal yang mendasari hubungan kompleks antara faktor lingkungan, okupasional, dan biologis dalam karsinogenesis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan fasilitas dan sumber daya dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Komisi Etik Penelitian Kesehatan RSUD Dr. Moewardi dan Kepala Dinas Kesehatan Kabupaten Sukoharjo atas persetujuan etik penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Absori, A., Hernanda, T., Fitriadi, A., Wardiono, K., & Budiono, A. (2023). Analysis of the Issues on Bengawan Solo River Basin Management Policies. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 19, 25–32.
- Afifah, N. A., Triyadi, R. A., Lukito, H., Wicaksono, A. P., Waisnawa, I. P. G. B., & Mulyana, A. (2025). STORET-Based Assessment of Water Quality in Bengawan Solo River, Wonogiri District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1486(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1486/1/012043>
- Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaulah, M., AlShahrani, A. M., Muzammil, K., Saati, A. A., Wahab, S., Elbendary, E. Y., Kambal, N., Abdelrahman, M. H., & Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*, 10(7), e29128. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128>

- Ajayi, R. O., & Ogunjobi, T. T. (2025). Environmental Exposures and Cancer Risk: A Comprehensive Review. *Medinformatics*, 2(2), 80–92. <https://doi.org/10.47852/BONVIEWMEDIN42023598>
- Allegra, A., Caserta, S., Genovese, S., Pioggia, G., & Gangemi, S. (2023). Gender Differences in Oxidative Stress in Relation to Cancer Susceptibility and Survival. *Antioxidants* 2023, Vol. 12, Page 1255, 12(6), 1255. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX12061255>
- Bhartiya, D., Raouf, S., Pansare, K., Tripathi, A., & Tripathi, A. (2024). Initiation of Cancer: The Journey From Mutations in Somatic Cells to Epigenetic Changes in Tissue-resident VSELs. *Stem Cell Reviews and Reports*, 20(4), 857–880. <https://doi.org/10.1007/S12015-024-10694-7>/METRICS
- Bisoyi, P. (2022). Malignant tumors – as cancer. In *Understanding Cancer: From Basics to Therapeutics* (pp. 21–36). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99883-3.00011-1>
- BKPK Kemenkes RI. (2023). *Survei Kesehatan Indonesia (SKI)*. Kementrian Kesehatan RI.
- Cani, M., Turco, F., Buttice, S., Vogl, U. M., Buttigliero, C., Novello, S., & Capelletto, E. (2023). How Does Environmental and Occupational Exposure Contribute to Carcinogenesis in Genitourinary and Lung Cancers? *Cancers* 2023, Vol. 15, Page 2836, 15(10), 2836. <https://doi.org/10.3390/CANCERS15102836>
- Cavalier, H., Trasande, L., & Porta, M. (2023). Exposures to pesticides and risk of cancer: Evaluation of recent epidemiological evidence in humans and paths forward. *International Journal of Cancer*, 152(5), 879–912. <https://doi.org/10.1002/IJC.34300;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- Cosci, I., Del Fiore, P., Mocellin, S., & Ferlin, A. (2025). *The Role of Sex Hormones and Gender Differences in the Immunity of Cancer*. 373–399. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00759-9_377
- Donat-Vargas, C., Kogevinas, M., Castaño-Vinyals, G., Pérez-Gómez, B., Llorca, J., Vanaclocha-Espí, M., Fernandez-Tardon, G., Costas, L., Aragonés, N., Gómez-Acebo, I., Moreno, V., Pollan, M., & Villanueva, C. M. (2023). Long-Term Exposure to Nitrate and Trihalomethanes in Drinking Water and Prostate Cancer: A Multicase–Control Study in Spain (MCC-Spain). *Environmental Health Perspectives*, 131(3). <https://doi.org/10.1289/EHP11391>
- Donev, R. (2021). *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology: Transport Protein* (Vol. 123). Academic Press. https://books.google.com/books/about/Transport_Proteins.html?id=92IFEAAAQBAJ
- Duan, K., Li, Y., Yang, W., Lin, Y., Rao, L., & Han, C. (2025). Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Agricultural Soils Around Industrial Enterprises in Lanzhou, China: A Multi-Industry Perspective Promoting Land Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 17(12), 5343. <https://doi.org/10.3390/SU17125343/S1>
- Fahira, A., & Athirah, F. N. (2025). Chemical Exposure, Public Health, and Environmental Justice Among Populations Residing Near Industrial Areas. *Journal of Diverse Medical Research: Medicosphere*, 2(6), 267–311. <https://doi.org/10.33005/JDIVERSEMEDRES.V2I6.184>
- Gatto, N. M., Ogata, P., & Lytle, B. (2021). Farming, Pesticides, and Brain Cancer: A 20-Year Updated Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Cancers* 2021, Vol. 13, Page 4477, 13(17), 4477. <https://doi.org/10.3390/CANCERS13174477>

- Global Cancer Observatory. (2022). *Globocan Factsheets*.
<https://Gco.Iarc.Who.Int/Media/Globocan/Factsheets/Populations/900-World-Fact-Sheet.Pdf>.
- Haupt, S., Caramia, F., Klein, S. L., Rubin, J. B., & Haupt, Y. (2021). Sex disparities matter in cancer development and therapy. *Nature Reviews Cancer* 2021 21:6, 21(6), 393–407. <https://doi.org/10.1038/s41568-021-00348-y>
- Jackson, S. S., Marks, M. A., Katki, H. A., Cook, M. B., Hyun, N., Freedman, N. D., Kahle, L. L., Castle, P. E., Graubard, B. I., & Chaturvedi, A. K. (2022). Sex disparities in the incidence of 21 cancer types: Quantification of the contribution of risk factors. *Cancer*, 128(19), 3531–3540. <https://doi.org/10.1002/CNCR.34390>
- Li, T., Zhang, H., Lian, M., He, Q., Lv, M., Zhai, L., Zhou, J., Wu, K., & Yi, M. (2025). Global status and attributable risk factors of breast, cervical, ovarian, and uterine cancers from 1990 to 2021. *Journal of Hematology and Oncology*, 18(1), 1–25. <https://doi.org/10.1186/S13045-025-01660-Y/FIGURES/8>
- Liu, Z., Chen, J., Ren, Y., Liu, S., Ba, Y., Zuo, A., Luo, P., Cheng, Q., Xu, H., & Han, X. (2024). Multi-stage mechanisms of tumor metastasis and therapeutic strategies. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9(1), 1–32. <https://doi.org/10.1038/S41392-024-01955-5;SUBJMETA>
- Mergia, M. T., Weldemariam, E. D., Eklo, O. M., & Yimer, G. T. (2021). Small-scale Farmer Pesticide Knowledge and Practice and Impacts on the Environment and Human Health in Ethiopia. *Journal of Health & Pollution*, 11(30), 210607. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-11.30.210607>
- Ogwu, M. C., & Izah, S. C. (2025). *Innovations in Disease Surveillance and Monitoring*. 83–108. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82622-1_4
- Prathiksha, J., Narasimhamurthy, R. K., Dsouza, H. S., & Mumbrekar, K. D. (2023). Organophosphate pesticide-induced toxicity through DNA damage and DNA repair mechanisms. *Molecular Biology Reports* 2023 50:6, 50(6), 5465–5479. <https://doi.org/10.1007/S11033-023-08424-2>
- Rendrarpoetri, B. L., Rustiadi, E., Fauzi, A., & Pravitasari, A. E. (2024). Sustainability Assessment of the Upstream Bengawan Solo Watershed in Wonogiri Regency, Central Java Province, Indonesia. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 1982, 16(5), 1982. <https://doi.org/10.3390/SU16051982>
- Rubin, J. B. (2022). The spectrum of sex differences in cancer. *Trends in Cancer*, 8(4), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.trecan.2022.01.013>
- Sahu, A. K., Biswas, P., Sahoo, S. K., Ahmed, S. N., Nath, S. R., Majhi, K. M., Sahu, B. Sen, Naik, P. K., & Baitharu, I. (2025). Carcinogenic risk associated with dietary and non-dietary exposure to pesticide residues around Hirakud Command Area, Odisha, India. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/S13530-025-00271-X/METRICS>
- Silva, D. B. da, Pianovski, M. A. D., & Carvalho Filho, N. P. de. (2025). Environmental pollution and cancer. *Jornal de Pediatria*, 101, s18–s26. <https://doi.org/10.1016/J.JPED.2024.09.004>
- Soleimani, H., Mansouri, B., Kiani, A., Omer, A. K., Tazik, M., Ebrahimzadeh, G., & Sharafi, K. (2023). Ecological risk assessment and heavy metals accumulation in agriculture soils irrigated with treated wastewater effluent, river water, and well water combined with chemical fertilizers. *Heliyon*, 9(3), e14580. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14580>

- Sri Wahyu Kusumastuti, A., Moh Bisri, B., Solichin, C., & Tri Budi P, D. (2021). Water Quality Monitoring and Evaluation in the Bengawan Solo River Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 641(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/641/1/012024>
- Sriharikrishnaa, S., Suresh, P. S., & Prasada K., S. (2023). *An Introduction to Fundamentals of Cancer Biology*. 307–330. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31852-8_11
- Wibisono, A. T., Anggorowati, D., Hanugroho, P. D., Idhayanti, R., & Pracaya, S. (2021). Water Pollution Identification and Mitigation at Several Points of Bengawan Solo River. *Journal of Global Environmental Dynamics*, 2(1), 1–3. <https://jurnal.uns.ac.id/jged/article/view/44891>
- Wong, H. L., & Brown, C. D. (2021). Assessment of occupational exposure to pesticides applied in rice fields in developing countries: a critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(2), 499–520. <https://doi.org/10.1007/S13762-020-02834-6/METRICS>
- Yang, H., Wang, J. bing, Wang, X. kun, Fan, J. hu, & Qiao, Y. lin. (2023). Association between type of drinking water and upper gastrointestinal cancer incidence in the Linxian General Population. *BMC Cancer* 2023 23:1, 23(1), 397-. <https://doi.org/10.1186/S12885-023-10887-2>
- Zakaria, Z., Zulkafflee, N. S., Mohd Redzuan, N. A., Selamat, J., Ismail, M. R., Praveena, S. M., Tóth, G., & Abdull Razis, A. F. (2021). Understanding Potential Heavy Metal Contamination, Absorption, Translocation and Accumulation in Rice and Human Health Risks. *Plants* 2021, Vol. 10, Page 1070, 10(6), 1070. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10061070>
- Zikargae, M. H., Woldearegay, A. G., & Skjerdal, T. (2022). Empowering rural society through non-formal environmental education: An empirical study of environment and forest development community projects in Ethiopia. *Heliyon*, 8(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09127>