

# Respon Imun pada Infeksi Saluran Kemih

Nur Wahyuniati<sup>1</sup>, Reza Maulana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Bagian Parasitologi, Fakultas Kedokteran Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.*

<sup>2</sup> *Bagian Anatomi dan Histologi, Fakultas Kedokteran Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh*

## ABSTRAK

### Kata Kunci:

Saluran kemih,  
Infeksi,  
Sitokin,  
Respon imun,  
Inflamasi

**Pendahuluan:** Infeksi saluran kemih (ISK) merupakan salah satu infeksi bakteri tersering yang melibatkan interaksi kompleks antara patogen uropatogenik dan sistem imun pejamu. Respon imun memegang peranan penting dalam mengenali, membatasi, dan mengeliminasi mikroorganisme penyebab ISK, sekaligus menjaga integritas jaringan saluran kemih. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk membahas mekanisme respon imun pada ISK, meliputi respon imun bawaan, respon imun adaptif, serta disfungsi sistem imun yang berkontribusi terhadap kerentanan dan kekambuhan infeksi.

**Metode:** Tinjauan literatur dilakukan untuk mensintesis temuan terbaru mengenai respon imun pada infeksi saluran kemih (ISK), dengan menggunakan database seperti PubMed dan Scopus. Kriteria inklusi mencakup artikel yang diterbitkan antara Desember 2020 dan Desember 2025, berfokus pada subjek manusia, dan jenis penelitian yang valid.

**Kesimpulan:** Respon imun bawaan berperan sebagai garis pertahanan pertama melalui aktivasi sel epitel saluran kemih, pelepasan sitokin proinflamasi, dan rekrutmen sel efektor seperti neutrofil. Respon imun adaptif berkontribusi dalam perlindungan jangka panjang melalui aktivasi limfosit T dan produksi antibodi, khususnya imunoglobulin A sekretorik. Namun, efektivitas respon imun dapat dipengaruhi oleh faktor virulensi patogen, variasi genetik pejamu, serta kondisi klinis tertentu yang menyebabkan disfungsi sistem imun. Ketidakseimbangan respon imun, baik berupa respon yang tidak adekuat maupun inflamasi berlebihan, dapat berujung pada infeksi berulang dan komplikasi. Pemahaman yang komprehensif mengenai respon imun pada ISK diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan strategi pencegahan dan terapi yang lebih efektif.

**Korespondensi:** reza.maulana@usk.ac.id (Reza Maulana)

---

## ABSTRACT

---

### Keywords:

immune,  
immune response,  
urinary tract  
infection, UTI

**Introduction:** Urinary tract infection (UTI) is one of the most common bacterial infections, involving a complex interaction between uropathogenic pathogens and the host immune system. The immune response plays a crucial role in recognizing, limiting, and eliminating microorganisms that cause UTIs, while maintaining the integrity of urinary tract tissue. This literature review aims to discuss the mechanisms of the immune response in UTIs, including the innate immune response, the adaptive immune response, and immune system dysfunction that contributes to infection susceptibility and recurrence.

**Methods:** A literature review was conducted to synthesize recent findings on the immune response in urinary tract infections (UTIs), using databases such as PubMed and Scopus. Inclusion criteria included articles published between December 2020 and December 2025, focused on human subjects, and valid research types.

**Conclusions:** The innate immune response acts as a first line of defense through activation of urinary tract epithelial cells, release of pro-inflammatory cytokines, and recruitment of effector cells such as neutrophils. The adaptive immune response contributes to long-term protection through activation of T lymphocytes and production of antibodies, particularly secretory immunoglobulin A. However, the effectiveness of the immune response can be influenced by pathogen virulence factors, host genetic variations, and certain clinical conditions that cause immune system dysfunction. Imbalances in the immune response, whether in the form of an inadequate response or excessive inflammation, can lead to recurrent infections and complications. A comprehensive understanding of the immune response in UTIs is expected to provide the basis for developing more effective prevention and treatment strategies.

---

## PENDAHULUAN

Infeksi Saluran Kemih (ISK) merupakan salah satu penyakit infeksi bakteri yang paling sering dijumpai dalam praktik klinis, baik pada populasi rawat jalan maupun rawat inap. ISK dapat mengenai berbagai bagian saluran kemih, mulai dari uretra dan kandung kemih hingga ureter dan ginjal, dengan manifestasi klinis yang bervariasi dari ringan hingga berat.<sup>1</sup> Patogen tersering penyebab ISK adalah *Escherichia coli* uropatogenik (UPEC), meskipun bakteri lain seperti *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, dan *Enterococcus spp.* juga berperan, terutama pada kasus komplikata dan terkait perawatan kesehatan.<sup>2</sup>

Keberhasilan patogen dalam menginfeksi saluran

kemih sangat bergantung pada kemampuannya untuk mengatasi sistem pertahanan imun tubuh. Saluran kemih memiliki mekanisme pertahanan yang kompleks, mencakup barier anatomis, faktor kimiawi urine, serta respon imun bawaan dan adaptif.<sup>3,4</sup> Respon imun bawaan berperan sebagai lini pertahanan pertama melalui pengenalan patogen oleh reseptor pengenal pola (*pattern recognition receptors*), aktivasi jalur inflamasi, serta rekrutmen sel imun seperti neutrofil dan makrofag. Di sisi lain, respon imun adaptif berkontribusi dalam eliminasi patogen secara spesifik dan pembentukan memori imun melalui aktivasi sel T dan produksi antibodi oleh sel B.<sup>3,5</sup>

Meskipun respon imun umumnya efektif

dalam membersihkan patogen, pada beberapa individu terjadi kegagalan eliminasi bakteri yang menyebabkan infeksi berulang atau kronis. Faktor host seperti usia lanjut, kehamilan, diabetes melitus, kelainan anatomi, serta penggunaan kateter urin dapat memengaruhi efektivitas respon imun. Selain itu, patogen penyebab ISK memiliki berbagai mekanisme virulensi untuk menghindari respon imun, termasuk pembentukan biofilm dan modulasi respon inflamasi.<sup>4</sup>

Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai respon imun pada Infeksi Saluran Kemih menjadi penting sebagai dasar dalam pengembangan strategi pencegahan dan terapi yang lebih efektif. Tinjauan ini bertujuan untuk membahas mekanisme respon imun bawaan dan adaptif pada ISK serta implikasinya terhadap perjalanan penyakit dan tata laksana klinis.

## METODE

### Desain Studi

Tinjauan literatur ini dilakukan untuk mensintesis temuan dari penelitian-penelitian terbaru mengenai respon imun pada infeksi saluran kemih (ISK).

### Sumber Data

Sumber datanya meliputi database elektronik seperti PubMed, Scopus, Web of Science, dan Cochrane Library. Kata kunci yang digunakan untuk penelusuran ini adalah “imun”, “respon imun”, dan “infeksi saluran kemih”.

### Kriteria Inklusi

(1) Artikel diterbitkan antara Desember 2020 dan Desember 2025; (2) Studi yang berfokus pada subjek manusia, khususnya orang dewasa berusia 18 tahun ke atas; (3) Publikasi dalam bahasa Inggris atau Bahasa Indonesia

### Kriteria Pengecualian

(1) Studi yang berfokus pada populasi anak atau model hewan; (2) Publikasi dalam bahasa selain bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia; (3) Abstrak

konferensi, komentar, dan opini.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Infeksi saluran kemih (ISK) merupakan salah satu infeksi bakteri tersering pada manusia dan dapat mengenai berbagai bagian saluran kemih, mulai dari uretra, vesika urinaria, hingga ginjal. Penyakit ini terutama menyerang perempuan, di mana sekitar 60% wanita diperkirakan akan mengalami setidaknya satu episode ISK selama hidupnya. Di antara kelompok tersebut, sekitar 30–40% akan mengalami kekambuhan yang dikenal sebagai infeksi saluran kemih berulang (ISK berulang). Manifestasi klinis ISK berulang bervariasi, mulai dari tanpa gejala hingga infeksi simptomatik pada saluran kemih bawah seperti sistitis, maupun keterlibatan saluran kemih atas berupa pielonefritis. Apabila tidak terdiagnosis dan ditangani dengan tepat, ISK berulang dapat berkembang menjadi kondisi yang lebih berat, termasuk urosepsis yang berpotensi mengancam jiwa.<sup>6,7</sup>

Sebagian besar kasus ISK disebabkan oleh bakteri uropatogen, terutama *Escherichia coli* uropatogenik (Uropathogenic *E. coli* / UPEC), yang memiliki kemampuan adhesi, invasi, dan bertahan hidup di lingkungan saluran kemih. Respon imun pejamu memainkan peran penting dalam mengenali patogen, membatasi penyebaran infeksi, serta mencegah kerusakan jaringan yang lebih luas.<sup>8,9</sup>

### Respon Imun Bawaan (Innate Immune Response)

Respon imun bawaan merupakan garis pertahanan pertama tubuh terhadap infeksi saluran kemih. Epitel saluran kemih berfungsi tidak hanya sebagai penghalang mekanik, tetapi juga sebagai komponen aktif sistem imun dengan mengekspresikan berbagai reseptor pengenalan pola (pattern recognition receptors/PRRs), seperti Toll-like receptors (TLRs). Aktivasi TLR, khususnya TLR4, oleh komponen bakteri Gram-negatif seperti lipopolisakarida (LPS) akan memicu jalur sinyal intraseluler yang mengarah pada aktivasi faktor transkripsi proinflamasi dan produksi sitokin.<sup>10,11</sup>

Produksi sitokin dan kemokin, termasuk interleukin-6 (IL-6), interleukin-8 (IL-8), dan tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), berperan penting dalam merekrut sel imun ke lokasi infeksi.<sup>12</sup> IL-8 secara khusus berfungsi sebagai kemokin utama yang menarik neutrofil ke jaringan saluran kemih. Neutrofil merupakan sel efektor dominan dalam respon imun terhadap ISK, yang bekerja melalui fagositosis, produksi spesies oksigen reaktif, serta pelepasan enzim antimikroba untuk mengeliminasi patogen.<sup>5</sup>

Selain neutrofil, makrofag dan sel dendritik juga berperan dalam respon imun bawaan terhadap ISK. Makrofag berfungsi dalam fagositosis dan produksi sitokin, sementara sel dendritik berperan sebagai penyaji antigen yang menghubungkan respon imun bawaan dengan respon imun adaptif. Aktivasi sel-sel ini menentukan efektivitas eliminasi patogen dan pembentukan memori imun selanjutnya.<sup>11</sup>

### **Respon Imun Adaptif (Adaptive Immune Response)**

Respon imun adaptif berperan penting terutama pada ISK berulang atau infeksi yang berlangsung kronik. Aktivasi respon ini melibatkan limfosit T dan B yang bekerja secara spesifik terhadap antigen bakteri. Limfosit T CD4<sup>+</sup> berfungsi dalam regulasi respon imun melalui sekresi sitokin yang memengaruhi aktivasi dan diferensiasi sel imun lainnya, sementara limfosit T CD8<sup>+</sup> berperan dalam eliminasi sel yang terinfeksi.<sup>13,14</sup>

Limfosit B berkontribusi melalui produksi antibodi, terutama imunoglobulin A (IgA) sekretorik pada mukosa saluran kemih. IgA sekretorik berfungsi mencegah adhesi bakteri uropatogen ke permukaan epitel saluran kemih, sehingga menghambat kolonisasi dan invasi lebih lanjut. Selain itu, antibodi juga dapat membantu opsonisasi bakteri, mempermudah fagositosis oleh sel imun bawaan.<sup>3,10</sup>

Meskipun respon imun adaptif berperan dalam perlindungan jangka panjang, pada ISK perlindungan yang dihasilkan sering kali tidak optimal. Hal ini disebabkan oleh karakteristik lingkungan saluran kemih yang relatif steril dan terbatasnya pembentukan memori imun mukosa yang kuat, sehingga individu tetap rentan mengalami infeksi

berulang.<sup>15</sup>

### **Respon Imun pada Infeksi Saluran Kemih (ISK)**

Respon imun pada ISK merupakan hasil interaksi kompleks antara patogen uropatogenik dan sistem imun pejamu.<sup>2,4</sup> Setelah bakteri masuk ke saluran kemih, mekanisme imun bawaan segera diaktifkan untuk membatasi kolonisasi dan penyebaran patogen. Keberhasilan respon ini sangat bergantung pada kemampuan sistem imun mengenali patogen secara cepat dan menghasilkan respon inflamasi yang adekuat.<sup>5</sup>

Pada beberapa kasus, respon imun yang kuat mampu mengeliminasi bakteri secara efektif, sehingga infeksi bersifat ringan dan self-limited. Namun, respon inflamasi yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan jaringan epitel saluran kemih dan berkontribusi terhadap gejala klinis seperti disuria, hematuria, dan nyeri suprapubik. Oleh karena itu, keseimbangan antara eliminasi patogen dan kontrol inflamasi menjadi faktor kunci dalam perjalanan penyakit ISK.<sup>9,16</sup>

Uropatogen, khususnya *Escherichia coli* uropatogenik, memiliki berbagai faktor virulensi yang memungkinkan mereka bertahan dari respon imun pejamu. Faktor-faktor tersebut meliputi kemampuan adhesi melalui fimbriae, pembentukan biofilm, serta invasi intraseluler yang memungkinkan bakteri menghindari deteksi dan eliminasi oleh sistem imun.<sup>2,4</sup>

### **Disfungsi Sistem Imun pada Infeksi Saluran Kemih (ISK)**

Disfungsi sistem imun dapat meningkatkan kerentanan individu terhadap ISK dan berkontribusi pada terjadinya infeksi berulang atau komplikasi. Gangguan respon imun bawaan, seperti penurunan fungsi neutrofil atau gangguan ekspresi reseptor pengenalan pola, dapat menghambat eliminasi awal patogen. Selain itu, variasi genetik pada gen TLR dan sitokin inflamasi diketahui memengaruhi tingkat kerentanan terhadap ISK.<sup>17,18</sup>

Kondisi tertentu seperti diabetes melitus, usia lanjut, kehamilan, dan penggunaan obat

imunopresif juga dapat memodifikasi respon imun terhadap infeksi saluran kemih. Pada kondisi ini, respon imun yang tidak adekuat memungkinkan bakteri bertahan lebih lama di saluran kemih dan meningkatkan risiko penyebaran infeksi ke saluran kemih bagian atas.<sup>8,9,16</sup>

Selain imunodefisiensi, respon imun yang berlebihan juga dapat berdampak negatif. Inflamasi kronik akibat aktivasi imun yang persisten dapat menyebabkan kerusakan jaringan ginjal, fibrosis, dan peningkatan risiko pielonefritis kronik.<sup>16</sup> Oleh karena itu, pemahaman mengenai disfungsi sistem imun pada ISK sangat penting untuk pengembangan strategi pencegahan dan terapi yang lebih efektif.

## KESIMPULAN

Respon imun terhadap infeksi saluran kemih merupakan proses yang dinamis dan melibatkan koordinasi antara sistem imun bawaan dan adaptif. Mekanisme imun bawaan berperan penting dalam pengenalan awal patogen dan eliminasi cepat melalui aktivasi sel epitel, produksi sitokin, serta rekrutmen neutrofil. Respon imun adaptif memberikan kontribusi tambahan dalam pengendalian infeksi, terutama pada ISK berulang, melalui aktivasi limfosit dan produksi antibodi mukosa. Namun, keberhasilan respon imun sangat dipengaruhi oleh faktor pejamu dan patogen. Disfungsi sistem imun, baik akibat kondisi klinis tertentu maupun faktor genetik, dapat meningkatkan kerentanan terhadap ISK dan risiko komplikasi. Oleh karena itu, keseimbangan antara respon imun yang efektif dan kontrol inflamasi yang adekuat menjadi kunci dalam perjalanan penyakit ISK. Pemahaman mendalam mengenai mekanisme imunologis pada ISK penting untuk mendukung pendekatan klinis yang lebih tepat dalam pencegahan, diagnosis, dan terapi infeksi saluran kemih.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Calin R, Hafner J, Ingersoll MA. Immunity to urinary tract infection: What the clinician should know. *C Commun* [Internet]. 2024 Dec;1(3):105057. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/>

[retrieve/pii/S2950590924050571](https://doi.org/10.1016/j.cmm.2024.105057)

2. Xu X, Wang Y, Li N, Jin Y, Xu X, Zhou Z, et al. Uropathogen profiles and their antimicrobial resistance patterns in patients: a three-year retrospective study in Sichuan region. *Front Public Heal* [Internet]. 2025 Feb 27;13. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2025.1493980/full>
3. Hou Y, Lv Z, Hu Q, Zhu A, Niu H. The immune mechanisms of the urinary tract against infections. *Front Cell Infect Microbiol*. 2025;15(April):1–12.
4. Ko YH, Choi JY, Song PH. Host-Pathogen Interactions in Urinary Tract Infections. *Urogenit Tract Infect*. 2019;14(3):71.
5. Lacerda Mariano L, Ingersoll MA. The immune response to infection in the bladder. *Nat Rev Urol* [Internet]. 2020 Aug 13;17(8):439–58. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41585-020-0350-8>
6. Li Z, Xu Y, Wang Q, Yuan G, Shu J, Liu S, et al. The natural immune molecules urinary Tamm–Horsfall protein and pentraxin 3 as predictors for recurrent urinary tract infection severity: a single-center self-control study. *Ren Fail* [Internet]. 2025 Dec 31;47(1). Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0886022X.2024.2449574>
7. Tamadonfar KO, Omattage NS, Spaulding CN, Hultgren SJ. Reaching the End of the Line: Urinary Tract Infections. Cossart P, Roy CR, Sansonetti P, editors. *Microbiol Spectr* [Internet]. 2019 May 31;7(3). Available from: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/microbiolspec.BAI-0014-2019>
8. Mancuso G, Midiri A, Gerace E, Marra M, Zummo S, Biondo C. Urinary Tract Infections: The Current Scenario and Future Prospects. *Pathog* (Basel, Switzerland) [Internet]. 2023 Apr 20;12(4). Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37111509>
9. Kaur R, Kaur R. Symptoms, risk factors, diagnosis and treatment of urinary tract infections. *Postgrad*

- Med J [Internet]. 2021 Dec 1;97(1154):803–12. Available from: <https://academic.oup.com/pmj/article/97/1154/803/6967180>
10. Hou Y, Lv Z, Hu Q, Zhu A, Niu H. The immune mechanisms of the urinary tract against infections. *Front Cell Infect Microbiol* [Internet]. 2025 Apr 16;15. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcimb.2025.1540149/full>
  11. Naskar M, Choi HW. A Dynamic Interplay of Innate Immune Responses During Urinary Tract Infection. *Immune Netw* [Internet]. 2024;24(4). Available from: <https://immunetwork.org/DOIx.php?id=10.4110/in.2024.24.e31>
  12. Yu W-R, Jiang Y-H, Jhang J-F, Kuo H-C. Use of Urinary Cytokine and Chemokine Levels for Identifying Bladder Conditions and Predicting Treatment Outcomes in Patients with Interstitial Cystitis/Bladder Pain Syndrome. *Biomedicines* [Internet]. 2022 May 17;10(5):1149. Available from: <https://www.mdpi.com/2227-9059/10/5/1149>
  13. Chieng CCY, Kong Q, Liou NSY, Khasriya R, Horsley H. The clinical implications of bacterial pathogenesis and mucosal immunity in chronic urinary tract infection. *Mucosal Immunol* [Internet]. 2023 Feb;16(1):61–71. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1933021922017688>
  14. Schwab S, Jobin K, Kurts C. Urinary tract infection: recent insight into the evolutionary arms race between uropathogenic *Escherichia coli* and our immune system. *Nephrol Dial Transplant* [Internet]. 2017 Dec 1;32(12):1977–83. Available from: <https://academic.oup.com/ndt/article/32/12/1977/3072152>
  15. Nabi G, Abdullah B. Recurrent urinary tract infection: Stimulating immune response through vaccines as an alternative to antimicrobial prophylaxis. *Scott Med J* [Internet]. 2025 Aug 19;70(3):44–5. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00369330251355745>
  16. Hsiao C-Y, Chen T-H, Lee Y-C, Hsiao M-C, Hung P-H, Wang M-C. Risk factors for uroseptic shock in hospitalized patients aged over 80 years with urinary tract infection. *Ann Transl Med* [Internet]. 2020 Apr;8(7):477–477. Available from: <http://atm.amegroups.com/article/view/39819/html>
  17. Krakowska A, Cedzyński M, Wosiak A, Swiechowski R, Krygier A, Tkaczyk M, et al. Toll-like receptor (TLR2, TLR4) polymorphisms and their influence on the incidence of urinary tract infections in children with and without urinary tract malformation. *Cent Eur J Immunol* [Internet]. 2022;47(3):260–6. Available from: <https://www.termedia.pl/doi/10.5114/ceji.2022.119625>
  18. Yu J, Varella Pereira GM, Allen-Brady K, Cuffolo R, Siddharth A, Koch M, et al. Genetic polymorphisms associated with urinary tract infection in children and adults: a systematic review and meta-analysis. *Am J Obstet Gynecol* [Internet]. 2024 Jun;230(6):600-609.e3. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002937823021695>