

## Tumor Embrionik Sistem Saraf Pusat

### *Central Nervous System Embryonal Tumors*

Janiya Abdilah Ilmiah<sup>(1\*)</sup>, Baiq Merna Merta Sari<sup>(2)</sup> & Atriska Citra Muliana<sup>(3)</sup>

Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan,  
Universitas Mataram, Indonesia

Disubmit: 21 Agustus 2025; Direview: 18 September 2025; Diaccept: 15 Desember 2025; Dipublish: 19 Desember 2025

\*Corresponding author: janiyaindrajaya@gmail.com

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tentang Central Nervous System Embryonal Tumors dalam perkembangan sumber literatur dan temuan penelitian yang sedang dilakukan. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian dengan tinjauan studi literatur yang ada di berbagai sumber referensi data primer dan sekunder. Analisis data yang dilakukan dengan memperdalam temuan analisis data pada sumber-sumber literatur yang ada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tumor embrional sistem saraf pusat (SSP) adalah neoplasma agresif yang umum terjadi pada anak-anak, dengan jenis paling sering seperti medulloblastoma, pineoblastoma, dan ETMR. Tumor ini berasal dari sel embrional yang belum matang dan berkembang cepat, sering menyebar dalam SSP. Faktor genetik, seperti mutasi TP53, NF2, dan MYC, serta jalur molekuler seperti Hedgehog, berperan besar dalam perkembangan tumor ini. Paparan radiasi juga bisa menjadi faktor risiko. Penanganan meliputi pembedahan, radioterapi, kemoterapi, terapi target, dan imunoterapi. Namun, terapi pada anak-anak masih menimbulkan tantangan karena efek samping jangka panjang, sehingga dibutuhkan pendekatan yang lebih efektif dan spesifik.

**Kata Kunci:** Prognosis; Tatalaksana Farmakologi; Tumor Embrional Sistem Syaraf Pusat.

#### Abstract

*This research aims to review Central Nervous System Embryonal Tumors in the development of literature sources and current research findings. The research method used is research with a review of existing literature studies in various primary and secondary data reference sources. Data analysis is carried out by deepening the findings of data analysis on existing literature sources. The results showed that embryonal tumors of the central nervous system (CNS) are aggressive neoplasms common in children, with the most frequent types such as medulloblastoma, pineoblastoma, and ETMR. These tumors originate from immature embryonal cells and develop rapidly, often spreading within the CNS. Genetic factors, such as TP53, NF2, and MYC mutations, as well as molecular pathways such as Hedgehog, play a major role in the development of these tumors. Exposure to radiation can also be a risk factor. Treatment includes surgery, radiotherapy, chemotherapy, targeted therapy and immunotherapy. However, therapy in children is still challenging due to long-term side effects, so a more effective and specific approach is needed.*

**Keywords:** Prognosis; Pharmacological Management; Central Nervous System Embryonal Tumors.

DOI: <https://doi.org/10.51849/j-p3k.v6i4.834>

#### Rekomendasi mensitasi :

Ilmiah, J. A., Sari, B. M. M. & Maulina, A. C. (2025), Central Nervous System Embryonal Tumors. *Jurnal Penelitian Pendidikan, Psikologi dan Kesehatan (J-P3K)*, 6 (4): 1280-1288.

## **PENDAHULUAN**

Tumor otak sistem saraf pusat (SSP) pada anak-anak merupakan salah satu penyebab utama kematian dan kecacatan yang disebabkan oleh kanker pada kelompok usia ini. Salah satu jenis tumor yang cukup sering ditemukan pada anak-anak adalah tumor embrional SSP. Tumor ini mencakup berbagai jenis keganasan yang berasal dari sel-sel neuroepitelial yang belum matang dan sering kali terjadi pada usia dini, terutama pada anak-anak di bawah lima tahun. Tumor embrional SSP termasuk dalam kategori tumor ganas yang sangat heterogen secara genetik, dengan prognosis yang umumnya buruk jika tidak ditangani dengan tepat (Blessing & Alexandrescu, 2020).

Secara histologis, tumor embrional SSP mencakup beberapa jenis, di antaranya adalah medulloblastoma, atypical teratoid rhabdoid tumor (ATRT), embryonal tumor with multilayered rosettes (ETMR), serta tumor lainnya seperti pineoblastoma dan ganglioneuroblastoma (Kram et al., 2018). Tumor-tumor ini sangat agresif dan cepat berkembang, sehingga membutuhkan pendekatan diagnostik dan terapeutik yang cepat dan tepat.

Klasifikasi tumor embrional SSP mengalami perubahan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Klasifikasi terbaru tumor embrional SSP tercermin dalam edisi terbaru dari klasifikasi tumor SSP WHO. Misalnya, medulloblastoma kini dikelompokkan dalam subgrup berdasarkan profil molekulernya, yang mencakup subgrup WNT, SHH, dan grup 3 serta grup 4, masing-masing dengan karakteristik klinis dan prognostik yang berbeda (Lacruz, 2024).

Dalam konteks perawatan medis, strategi terapeutik untuk tumor embrional SSP pada anak-anak sering melibatkan kombinasi pembedahan, radioterapi, dan kemoterapi. Pada penelitian terbaru juga menunjukkan adanya harapan baru dalam bentuk terapi berbasis molekuler dan imunoterapi, yang diharapkan dapat meningkatkan angka kelangsungan hidup pasien dengan mengurangi efek samping dari pengobatan tradisional (Kram et al., 2018). Pemahaman yang lebih baik tentang tumor embrional SSP sangat penting untuk memperbaiki pendekatan klinis dalam diagnosis dan terapi.

## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian dalam penelitian ini adalah menggunakan studi literatur dengan data primer maupun sekunder melalui web seperti google scholar dan berbagai artikel, jurnal ilmiah dengan sesuai topik yang diteliti. Disamping itu analisis data dilakukan dengan memperdalam definisi, penjelasan tentang tumor Embrional pada sistem syaraf pusat yaitu dengan sesuai aturan farmakologi dalam penanganan ilmu kedokteran.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tumor embrional sistem saraf pusat merupakan neoplasma yang sangat agresif dan berdiferensiasi buruk yang terutama dominan terjadi pada anak kecil tetapi juga dapat menyerang remaja dan orang dewasa. Tumor embrional sistem saraf pusat terbentuk dari sel-sel yang tersisa dari perkembangan janin yang disebut sebagai sel embrional, dimana seharusnya sel ini berkembang menjadi sel saraf yang matang tetapi malah menjadi abnormal dan mulai tumbuh secara tidak terkendali

(Blessing & Alexandrescu, 2020). Klasifikasi terbaru dari World Health Organization (WHO CNS5), menetapkan dua jenis tumor embrional yaitu medulloblastoma dan jenis tumor embrional SSP lainnya. Medulloblastoma adalah tumor otak embrional yang paling umum, sedangkan jenis tumor embrional lainnya dianggap "langka" dan biasanya menyerang bayi dan anak-anak yang sangat muda. Berbeda dengan medulloblastoma yang menurut definisi berasal dari cerebellum atau batang otak dorsal. Sedangkan, tumor embrional SSP lainnya dapat muncul di sepanjang neuraksis.

Tumor embrional sistem saraf pusat (SSP) merupakan kelompok tumor yang berkembang pada sistem saraf pusat, termasuk otak dan sumsum tulang belakang, yang berasal dari sel-sel embrional. Tumor ini lebih sering ditemukan pada anak-anak dan dikenal dengan sifatnya yang agresif. Beberapa jenis tumor embrional SSP yang umum ditemukan meliputi medulloblastoma, neuroblastoma, dan tumor teratoid rabdoid atipikal (ATRT). Penyebab pasti dari tumor embrional SSP ini masih belum sepenuhnya dipahami, namun beberapa faktor seperti faktor genetik, lingkungan, dan biologis diyakini menjadi penyebab tumor embrional SSP dalam perkembangannya.

Faktor genetik berperan utama dalam sebagian besar kasus tumor embrional SSP. Kelainan genetik tertentu, seperti mutasi pada gen TP53 yang dapat ditemukan pada sindrom Li-Fraumeni, meningkatkan risiko seseorang terkena medulloblastoma, salah satu jenis tumor embrional SSP yang paling sering dijumpai

pada anak-anak (Packer & McNeil, 2022). Sindrom lain yang berhubungan dengan peningkatan risiko tumor SSP adalah neurofibromatosis tipe 1 (NF1), yang memengaruhi regulasi pertumbuhan sel dan menyebabkan tumor pada sistem saraf. Sindrom Turcot, yang dikaitkan dengan mutasi gen adenomatous polyposis coli (APC) juga meningkatkan kemungkinan terjadinya medulloblastoma yang menunjukkan bahwa gangguan dalam pengaturan siklus sel dapat berkontribusi pada perkembangan tumor SSP (Lagerwaard & Jalal, 2017). Selain itu, kelainan kromosom seperti kehilangan kromosom 17p atau mutasi pada gen MYC dapat menyebabkan proliferasi sel yang tidak terkendali, yang mendasari banyak jenis tumor SSP (Louis, 2016).

Meskipun faktor genetik adalah penyebab utama, faktor lingkungan juga dapat berperan dalam terjadinya tumor embrional SSP. Paparan terhadap radiasi ionisasi selama kehamilan atau pada anak-anak yang menerima terapi radiasi untuk kanker dapat meningkatkan risiko perkembangan tumor SSP. Paparan radiasi ini dapat merusak DNA sel, mengakibatkan mutasi yang memicu pertumbuhan tumor (Packer & McNeil, 2022). Selain itu, meskipun bukti tentang pengaruh infeksi virus dan bahan kimia terhadap risiko tumor SSP masih terbatas, penelitian menunjukkan bahwa infeksi selama masa perkembangan embrio bisa berpotensi mengganggu perkembangan normal sistem saraf pusat, yang pada gilirannya meningkatkan risiko tumor.

Selain itu, faktor biologis dan molekuler juga dapat ikut berperan dalam perkembangan tumor embrional SSP. Salah satu jalur yang banyak diteliti adalah

jalur Hedgehog, yang berperan dalam regulasi pertumbuhan sel. Gangguan pada jalur ini dapat menyebabkan pertumbuhan sel yang tidak terkendali, yang berkontribusi pada pembentukan medulloblastoma.

Tumor embrional pada sistem saraf pusat merupakan neoplasma yang langka terjadi dan sebagian besar terjadi pada anak-anak usia dini dengan prevalensi sebesar 20% hingga 25% dari jumlah seluruh kejadian tumor primer sistem saraf pusat. Medulloblastoma yang paling umum pada anak-anak memiliki prevalensi sekitar 30% dari semua tumor padat otak pada kelompok usia ini. Insiden medulloblastoma pada anak-anak usia 1 hingga 9 tahun adalah lima hingga sepuluh kali lebih tinggi dibandingkan pada orang dewasa. Sementara itu, di Indonesia data epidemiologi tentang tumor SSP terutama yang berhubungan dengan tumor embrional masih terbatas. Berdasarkan data yang diperoleh dari Rumah Sakit Umum Dr. Soetomo, antara 2012 dan 2018, tumor otak pada anak-anak, termasuk medulloblastoma dan tumor selular lainnya, mendominasi diagnosis pada pasien di bawah usia 18 tahun (Wahyuhadi et al., 2021).

Medulloblastoma adalah jenis tumor otak yang terletak di *cerebellum*, *cerebellar peduncle*, dan *ventrikel* keempat (paling sering di *cerebellum*). Tumor ini berasal dari sel-sel yang belum sepenuhnya berkembang, yang dikenal sebagai sel progenitor. Tumor medulloblastoma memiliki variasi yang tinggi dalam bentuk dan karakteristiknya, yang mempengaruhi cara tumbuh dan seberapa agresif tumor tersebut. Berdasarkan bentuknya terdapat 2 jenis medulloblastoma yaitu

desmoplastik yang memiliki tekstur lebih keras dan anaplastik yang bersifat lebih agresif.

Medulloblastoma sering kali menunjukkan adanya perubahan pada struktur kromosom. Salah satu perubahan yang paling umum adalah iso-kromosom 17q, yang terjadi pada sekitar 50% kasus. Ini berarti ada penambahan salinan kromosom 17 pada bagian tertentu, yang disebut lengan q. Selain itu, perubahan pada kromosom 17p juga sering terjadi, yang mengarah pada pembentukan iso-kromosom 17q atau hilangnya sebagian bagian dari kromosom tersebut.

Selain perubahan kromosom, medulloblastoma juga sering dikaitkan dengan amplifikasi gen atau ekspresi berlebih dari beberapa gen, yang membuat tumor semakin agresif. Salah satu gen yang sering mengalami amplifikasi adalah MYC. Peningkatan jumlah gen ini membuat tumor berkembang lebih cepat dan cenderung lebih sulit diobati. Selain itu, ekspresi berlebih dari gen ERBB2 dan ERBB4 juga terkait dengan peningkatan risiko metastasis dan prognosis yang buruk bagi pasien.

*Atypical Teratoid Rhabdoid Tumor* (ATRT) yang merupakan salah satu jenis tumor embrional SSP memiliki kejadian sangat langka dengan prevalensi sebesar 1-2% dari tumor SSP yang terjadi pada anak-anak, terutama menyerang anak laki-laki. Insiden puncak terjadi pada anak-anak usia kurang dari 3 tahun (Kram et al., 2018).

Ependymoma adalah jenis tumor yang berkembang dari sel glia yang ada di dinding sistem ventrikel otak atau sumsum tulang belakang. Tumor ini dapat muncul di berbagai bagian otak atau tulang

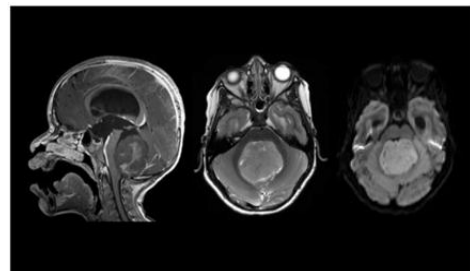
belakang, dan pada anak-anak, lebih dari 90% ependymoma terjadi di otak, terutama di bagian belakang otak (fossa posterior). Pada orang dewasa, ependymoma lebih sering ditemukan di sumsum tulang belakang. Ependymoma dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan sifat histologinya, mulai dari yang jinak (Grade I) hingga yang lebih agresif (Grade III).

Pada ependymoma, perubahan kromosom sering terjadi. Salah satunya adalah monosomi 22, yaitu hilangnya satu salinan kromosom 22, yang dapat menyebabkan berkembangnya tumor. Selain itu, translokasi dan penghapusan kromosom yang melibatkan kromosom 22 juga sering ditemukan. Gen NF2, yang terletak pada kromosom 22, sangat terkait dengan ependymoma, terutama pada pasien yang memiliki mutasi gen NF2, yang lebih sering terjadi pada ependymoma tulang belakang. Di sisi lain, ependymoma yang muncul di otak seringkali menunjukkan perubahan pada kromosom 1 dan kromosom 11, termasuk penguatan kromosom 1q, yang sering kali berhubungan dengan ependymoma yang lebih agresif.

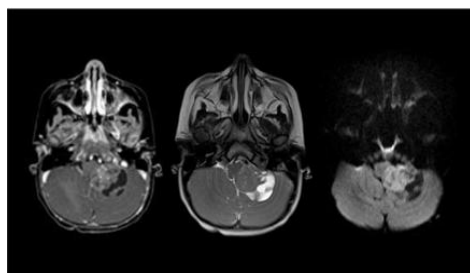
Salah satu perubahan genetik yang penting pada ependymoma adalah fusi gen RELA, yang ditemukan pada lebih dari dua pertiga sampel ependymoma supratentorial. Fusi ini mengarah pada aktivasi abnormal dari faktor transkripsi NF- $\kappa$ B, yang berkontribusi pada perkembangan tumor. Selain itu, perubahan genom lainnya yang terlibat dalam proliferasi sel dan diferensiasi neuron juga ditemukan dalam ependymoma, termasuk amplifikasi dan pengaturan ulang gen yang terlibat dalam

pertumbuhan dan diferensiasi sel, seperti THAP11, PSPH, dan EPHB2 (Essianda, 2023).

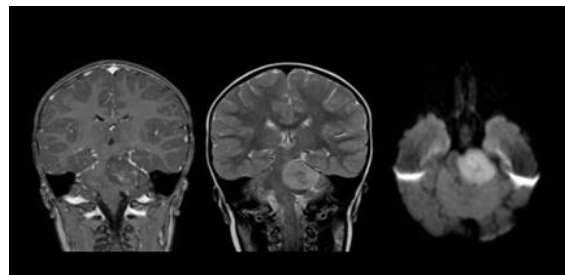
Penegakan diagnosis tumor embrional SSP meliputi pemeriksaan neuroimaging dan pengambilan sampel jaringan melalui biopsi atau reseksi tumor oleh dokter bedah saraf. Pemeriksaan neuroimaging saja tidak cukup untuk menegakkan diagnosis tumor embrional SSP. Akan tetapi, dengan pemeriksaan neuroimaging seperti MRI berfungsi sebagai modalitas utama untuk evaluasi dan memberikan informasi mengenai lokasi, luas dan komposisi tumor serta untuk menentukan stadium dari tumor embrional SSP.



Gambar 1. Medulloblastoma



Gambar 2. Atypical teratoid rhabdoid tumor



Gambar 3. Embryonal tumor with multilayered rosettes

Diagnosis tumor embrional SSP utamanya dilakukan dengan pengambilan sampel jaringan melalui biopsi atau reseksi



tumor oleh dokter bedah saraf. Di beberapa kasus, pengambilan sampel jaringan dilakukan namun diikuti oleh analisis histologis dan molekuler cairan serebrospinal (CSF).

Terapi pada tumor embrional sistem saraf pusat terdiri dari terapi farmakologi dan terapi non-farmakologi

Tatalaksana non farmakologi pada tumor SSP embrionik berfokus pada prosedur medis dan pendukung yang bertujuan untuk mengurangi ukuran tumor, mengatasi gejala, serta mencegah penyebaran atau kekambuhan tumor.

a) Pembedahan. Merupakan langkah pertama yang sering dilakukan dengan tujuan untuk mengangkat sebanyak mungkin jaringan tumor dengan meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitar otak atau sum-sum tulang belakang. Pembedahan ini sangat penting, karena dapat mengurangi tekanan intrakranial dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Akan tetapi, seringkali lokasi tumor yang sering berada di area-area yang sulit dijangkau, pengangkatan tumor secara keseluruhan mungkin tidak selalu dapat dilakukan, dan dalam beberapa kasus, hanya sebagian tumor yang dapat diangkat (Yao, 2017).

b) Radiasi. Terapi radiasi sering dilakukan setelah pembedahan, dimana tindakan ini dilakukan untuk menghancurkan sisa-sisa sel tumor yang mungkin tertinggal setelah operasi. Craniospinal irradiation (CSI) adalah jenis terapi radiasi yang sering digunakan pada tumor yang telah menyebar ke

seluruh sistem saraf pusat, seperti pada medulloblastoma. Terapi ini bertujuan untuk membunuh sel tumor dan mengurangi kemungkinan kekambuhan. Akan tetapi, pada anak-anak terutama yang berusia di bawah lima tahun, terapi radiasi harus dilakukan dengan hati-hati karena dapat mengganggu perkembangan otak jangka panjang dan menyebabkan efek samping yang merugikan seperti gangguan kognitif dan pertumbuhan fisik (Jiang, 2021).

c) Rehabilitasi. Setelah menjalani pembedahan dan terapi radiasi, banyak pasien yang mengalami gangguan neurologis seperti kesulitan dalam bergerak, berbicara, atau mengingat. Oleh karena itu, fisioterapi, terapi okupasi, dan terapi bicara sangat dibutuhkan untuk membantu pasien mengembalikan fungsi tubuh mereka (Jiang, 2021).

Tatalaksana farmakologi untuk tumor SSP embrionik melibatkan penggunaan kemoterapi, terapi target, dan imunoterapi.

a) Kemoterapi, adalah salah satu komponen utama dalam pengobatan tumor CNS embrionik, terutama pada kasus di mana tumor tidak dapat diangkat sepenuhnya atau telah menyebar ke bagian tubuh lainnya. Agen kemoterapi yang paling umum digunakan dalam pengobatan medulloblastoma dan jenis tumor CNS lainnya termasuk cisplatin, vincristine, dan cyclophosphamide. Kemoterapi ini bertujuan untuk membunuh sel-sel

tumor yang terdeteksi setelah pembedahan atau radiasi, serta untuk mencegah penyebaran lebih lanjut (Gajjar, 2020). Kombinasi kemoterapi dengan terapi radiasi diketahui dapat meningkatkan efektivitas pengobatan dan memperbaiki angka kelangsungan hidup pasien.

b) Terapi target, merupakan pendekatan yang semakin diperkenalkan untuk pengobatan tumor SSP embrionik. Pada beberapa tumor CNS, seperti medulloblastoma, perubahan genetik tertentu yang terjadi pada sel tumor dapat menjadi sasaran terapi yang lebih spesifik. Salah satu terapi target yang menjanjikan adalah penggunaan inhibitor jalur sinyal Hedgehog, seperti vismodegib, yang digunakan untuk mengobati sub tipe medulloblastoma tertentu yang memiliki kelainan pada jalur sinyal ini. Terapi ini memiliki potensi untuk menghambat pertumbuhan tumor dengan memblokir jalur sinyal yang mendukung pertumbuhan tumor, memberikan harapan baru bagi pasien dengan jenis tumor yang lebih sulit diobati (Zhang, 2019).

c) Imunoterapi. Imunoterapi mulai dieksplorasi sebagai pilihan pengobatan untuk tumor SSP embrionik. Salah satu pendekatan yang sedang dalam tahap uji coba adalah penggunaan inhibitor checkpoint imun, seperti nivolumab, yang bertujuan untuk meningkatkan respons imun tubuh

terhadap sel tumor. Meskipun imunoterapi masih dalam tahap penelitian dan eksperimen, hasil awal dari uji klinis menunjukkan bahwa terapi ini dapat memberikan manfaat pada beberapa jenis tumor CNS yang tidak responsif terhadap pengobatan konvensional (Pajares, 2020).

Prognosis pada tumor embrional sistem saraf pusat (SSP) tergantung pada berbagai faktor, seperti kondisi klinis pasien, karakteristik biologis tumor, serta faktor-faktor yang bisa diubah seperti pengobatan berdasarkan tingkat risiko dan perawatan suportif.

Pasien yang telah mengalami penyebaran penyakit saat pertama kali didiagnosis memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami kekambuhan. Sekitar 15-20% dengan diagnosis medulloblastoma menunjukkan penyebaran SSP sejak awal didiagnosis, dimana sering terjadi pada bayi dan jarang terjadi pada remaja dan dewasa. Pasien dengan penyakit yang beresiko tinggi menunjukkan prognosis yang buruk dan dapat mengalami morbiditas jangka panjang. Saat ini, tingkat kesembuhan keseluruhan dari pasien medulloblastoma sekitar 70%. hal ini dikarenakan adanya kemajuan dalam diagnosis, stratifikasi risiko serta manajemen klinis pada penderita medulloblastoma (Orr, 2020).

Pengangkatan tumor sebanyak mungkin (reseksi maksimal) masih sangat penting untuk meningkatkan peluang hidup, terutama pada medulloblastoma. Sebuah studi internasional pada 340 anak menunjukkan bahwa sisa tumor lebih dari 1,5 cm<sup>2</sup> setelah operasi berhubungan dengan penurunan tingkat kelangsungan

hidup bebas kejadian selama lima tahun. Akan tetapi, Studi besar lainnya yang melibatkan 787 pasien dari berbagai usia juga menemukan bahwa jika sisa tumor lebih dari 1,5 cm<sup>2</sup>, peluang untuk bebas dari perkembangan penyakit lebih rendah dibandingkan dengan pasien yang tumornya diangkat total. Namun, tidak ada perbedaan yang berarti antara pengangkatan total dengan pengangkatan hampir total (sisa tumor ≤ 1,5 cm<sup>2</sup>). Studi ini juga menunjukkan bahwa perbedaan antara pengangkatan total dan hampir total sering kali sulit ditentukan secara pasti, jadi pengukuran sisa tumor harus dilihat dengan hati-hati. Dalam uji klinis saat ini, pasien dengan sisa tumor lebih dari 1,5 cm<sup>2</sup> dianggap sebagai pasien dengan risiko lebih tinggi (Thompson., 2016). Pada tumor embrional SSP lainnya, tingkat pengangkatan tumor juga berpengaruh terhadap peluang hidup. Dalam kajian dari Rare Brain Tumor Consortium, tingkat pengangkatan awal merupakan faktor penting dalam menentukan prognosis pada anak-anak dengan tumor embrional SSP.

Akan tetapi, ada pengecualian seperti ATRT (*Atypical Teratoid Rhabdoid Tumor*), dimana berdasarkan studi prospektif yang dilakukan, pengangkatan tumor tidak berpengaruh terhadap harapan hidup bebas kejadian atau keseluruhan. Namun, hal ini perlu dipastikan lebih lanjut lagi (Reddy, 2020). Sementara itu, tumor embrional lainnya seperti *embryonal tumor with multilayered rosettes* (ETMR) bersifat sangat agresif dengan rat.

## SIMPULAN

Tumor embrional sistem saraf pusat (SSP) adalah neoplasma agresif yang

umum terjadi pada anak-anak, dengan jenis paling sering seperti medulloblastoma, pineoblastoma, dan ETMR. Tumor ini berasal dari sel embrional yang belum matang dan berkembang cepat, sering menyebar dalam SSP. Faktor genetik, seperti mutasi TP53, NF2, dan MYC, serta jalur molekuler seperti Hedgehog, berperan besar dalam perkembangan tumor ini. Paparan radiasi juga bisa menjadi faktor risiko. Penanganan meliputi pembedahan, radioterapi, kemoterapi, terapi target, dan imunoterapi. Namun, terapi pada anak-anak masih menimbulkan tantangan karena efek samping jangka panjang, sehingga dibutuhkan pendekatan yang lebih efektif dan spesifik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blessing, M. M., & Alexandrescu, S. (2020). Embryonal Tumors of the Central Nervous System: An Update. *Surgical Pathology Clinics*, 13(2), 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.path.2020.01.003>
- Essianda, V. (2023). Brain Tumor: Molecular Biology, Pathophysiology, and Clinical Symptoms. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(4), 260–269. <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i4.5585>
- Gajjar, A. (2020). Recent Advances in the Treatment of Medulloblastoma: Focus on Chemotherapy and Radiation Therapy. *Neuro-Oncology*, 22(5), 741–749.
- Jiang, S. (2021). Long-term Cognitive and Emotional Outcomes in Pediatric Brain Tumor Survivors. *Journal of Clinical Oncology*, 39(2), 151–159.
- Kram, D. E., Henderson, J. J., Baig, M., Chakraborty, D., Gardner, M. A., Biswas, S., & Khatua, S. (2018). Embryonal tumors of the central nervous system in children: The era of targeted therapeutics. *Bioengineering*, 5(4), 78. <https://doi.org/10.3390/bioengineering5040078>
- Lacruz, C. R. (2024). *Central nervous system tumors: Diagnostic pathology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-51078-6>



- Lagerwaard, L., & Jalal, M. (2017). Genetic causes of medulloblastoma. *Nature Reviews Neurology*, 13(7), 412–422.
- Louis, D. N. (2016). The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System. *Acta Neuropathologica*, 131(6), 803–820.
- Orr, B. A. (2020). Pathology, diagnostics, and classification of medulloblastoma. *Brain Pathology*, 30(3), 664–678. <https://doi.org/10.1111/bpa.12837>
- Packer, R. J., & McNeil, J. A. (2022). Medulloblastoma and other embryonal tumors. In *Principles and Practice of Pediatric Neurosurgery* (pp. 371–390). Springer.
- Pajares, M. (2020). Immunotherapy in CNS Tumors: From Bench to Bedside. *Journal of Neuro-Oncology*, 148(1), 31–42.
- Reddy, A. T. (2020). Efficacy of High-Dose Chemotherapy and 3-D Conformal Radiation for Atypical Teratoid / Rhabdoid Tumor: A Report from the Children's Oncology Group Trial. *Journal of Clinical Oncology*, 38(11), 117. <https://doi.org/10.1200/JCO.19.01776>
- Thompson. (2016). Prognostic value of Medulloblastoma Extent of Resection After Accounting for Molecular Subgroup: a Retrospective Integrated Clinical and Molecular Analysis. *The Lancet Oncology*, 17(4), 484–495. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00581-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00581-1)
- Wahyuhadi, J., Pratama, M. F. R., Wathoni, R. T. Z., & Basuki, H. (2021). The Indonesian central nervous system tumors registry (Ina-CTR): 7 years result from single institution of primary brain tumor epidemiology. *Indonesian Journal of Neurosurgery*, 4(1), 25–35. <https://doi.org/10.15562/ijn.v4i1.142>
- Yao, Y. (2017). Surgical Outcomes and Prognostic Factors for Pediatric CNS Embryonal Tumors. *Neurosurgical Review*, 44(3), 441–448.
- Zhang, X. (2019). Targeted Therapy for Medulloblastoma: Inhibition of Hedgehog Signaling. *Frontiers in Oncology*, 9, 614.