



STRATEGI PENGGUNAAN AKUIFER SEBAGAI TEMPAT SIMPANAN AIR DAN MENGURANGKAN RISIKO BANJIR KILAT



**PUSAT KAJIAN HIDROGEOLOGI
INSTITUT PENYELIDIKAN AIR KEBANGSAAN
MALAYSIA (NAHRIM)
LOT 5377, JALAN PUTRA PERMAI,
43300 SERI KEMBANGAN, SELANGOR**

**STRATEGI PENGGUNAAN AKUIFER SEBAGAI TEMPAT SIMPANAN AIR DAN
MENGURANGKAN RISIKO BANJIR KILAT**

OLEH:

MOHD KHAIRUL NIZAR BIN SHAMSUDDIN

2025

STRATEGI PENGGUNAAN AKUIFER SEBAGAI TEMPAT SIMPANAN AIR DAN MENGURANGKAN RISIKO BANJIR KILAT

Strategi penggunaan akuifer sebagai tempat simpanan air untuk mengurangi risiko banjir kilat melibatkan penerapan solusi berbasis alam yang memanfaatkan potensi akuifer dalam mengatur aliran air. Akuifer merupakan lapisan batuan atau tanah yang dapat menyimpan dan mengalirkan air. Dengan memanfaatkan akuifer secara optimal, air hujan dapat diserap dan disimpan, mengurangi jumlah aliran permukaan yang menyebabkan banjir.

KAEDAH INJEKSI AIR HUJAN KE DALAM AKUIFER

1. Injeksi air hujan ke dalam akuifer adalah proses memindahkan air hujan yang telah dikumpulkan atau disalurkan ke dalam akuifer (lapisan bawah tanah yang menyimpan air) dengan tujuan untuk meningkatkan simpanan air tanah dengan menggunakan telaga imbuhan (recharge wells). Teknik ini sering digunakan sebagai salah satu kaedah untuk mengisi semula akuifer yang terjejas atau untuk memulihkan sumber air di kawasan yang mengalami kekurangan bekalan air.
2. Seterusnya air hujan yang jatuh di permukaan tanah akan diserap dan meresap ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam, menuju ke akuifer yang terletak lebih dalam di bawah permukaan tanah. Proses ini dikenali sebagai penyusupan atau infiltrasi. Keupayaan tanah untuk menyerap air hujan bergantung pada struktur tanah, kepadatan, dan sifat geologi kawasan tersebut.
3. Justeru itu, Kadar injeksi biasanya diukur dalam unit liter per saat (L/s) atau meter padu per hari (m^3/hari). Anggaran kadar injeksi yang biasa dalam pelbagai jenis sistem dan kawasan bergantung dengan jenis tanah/geologi. Kadar Injeksi di kawasan dengan tanah telap air yang tinggi (contohnya tanah berpasir) yang kadar injeksi boleh mencapai antara $500 \text{ m}^3/\text{jam}$ hingga $1000 \text{ m}^3/\text{jam}$ bergantung kepada kapasiti telaga Imbuhan (recharge wells) dan ketelapan tanah. Dalam beberapa projek besar di luar negara seperti yang dilakukan di California, Amerika Syarikat, dan Australia, kadar injeksi air hujan yang disuntikkan melalui telaga imbuhan boleh mencapai sehingga $3000 \text{ m}^3/\text{jam}$ di kawasan yang sesuai. Manakala, kadar Injeksi di kawasan dengan tanah kurang telap air (contohnya tanah liat atau batuan): Kadar Injeksi rendah, di kawasan dengan tanah yang kurang telap, menunjukkan kadar injeksi boleh berada dalam jangkaan $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ hingga $100 \text{ m}^3/\text{jam}$: Kawasan ini

memerlukan injeksi perlahan dan lebih banyak masa untuk air hujan diserap dan bergerak ke dalam akuifer.

4. Di beberapa kawasan di California, projek pemulihan akuifer buatan (artificial recharge) menggunakan air hujan berjaya meningkatkan kadar penyusupan dengan menggunakan telaga imbuhan dan sistem saliran hijau. Sebagai contoh, projek Orange County Water District dapat menginjeksi kira-kira 100 juta liter air ke dalam akuifer setiap hari, terutamanya menggunakan air hujan yang dikumpul. Di Melbourne pula, projek penyusupan air hujan di kawasan bandar dapat menyuntik lebih daripada 1 juta liter air sehari ke dalam akuifer melalui sistem saliran dan telaga imbuhan. Manakala di Negara Qatar Sebagai negara dengan sumber air yang sangat terhad, Qatar telah menggunakan teknik injeksi air hujan untuk mengisi semula akuifer di beberapa kawasan. Kadar injeksi yang digunakan dalam beberapa projek ini adalah 200 hingga 500 m³/jam bergantung pada kondisi geologi dan kapasiti simpanan akuifer.
5. Bagi mengambil contoh kepada kejayaan projek injeksi ini, NAHRIM telah membangunkan sistem injeksi air hujan ke dalam akuifer dan pembinaan telaga imbuhan di kawasan Olak Lempit, Selangor yang berkapasiti 10 m³/jam dan dengan kedalaman sehingga 25m ini secara setempat bagi melihat keberkesanan kaedah ini. Pemilihan kawasan ini dibuat berdasarkan penggunaan air tanah yang tinggi bagi industri. Dalam teknik ini, air hujan yang dikumpul disalurkan secara terkawal dari segi kuantiti dan kualiti air ke dalam lapisan akuifer untuk meningkatkan bekalan dan aras air tanah.
6. Keberkesanan kaedah injeksi air hujan ke dalam akuifer untuk mengatasi banjir kilat juga bergantung pada banyak faktor, seperti jenis tanah, lokasi, infrastruktur, dan jumlah hujan. Walaupun sukar untuk memberikan angka yang tepat kerana banyaknya faktor yang terlibat, beberapa kajian dan pengalaman lapangan menunjukkan bahawa injeksi air hujan boleh memberikan impak yang signifikan dalam mengurangkan banjir kilat, terutama apabila dilaksanakan secara meluas di kawasan yang sesuai. Skala projek juga memainkan peranan penting. Jika projek injeksi ini hanya dilaksanakan di kawasan kecil atau terhad, keberkesanan dalam mengatasi banjir kilat mungkin hanya sekitar 20% hingga 40%. Sebaliknya, jika diterapkan secara besar-besaran di seluruh kawasan bandar atau daerah, keberkesananannya dapat meningkat secara dramatik, mungkin mencapai 60% hingga 80%.

7. Kasraian et al. (2022) dalam kajian mereka yang diterbitkan dalam *Water Resources Management* menyatakan bahawa injeksi air hujan adalah kaedah yang berkesan untuk memulihkan akuifer, khususnya dalam kawasan yang mengalami pengurangan sumber air tanah akibat penggunaan berlebihan. Mereka juga menggariskan kepentingan pemantauan kualiti air sebelum dan selepas injeksi untuk mengelakkan pencemaran air tanah yang boleh merosakkan ekosistem bawah tanah.
8. Ghasemizadeh et al. (2023) dalam jurnal *Journal of Hydrology* mengkaji keberkesanan teknik injeksi air hujan di kawasan yang mengalami kemarau berpanjangan di Iran. Mereka menyimpulkan bahawa dengan menggunakan kolam penyusupan untuk mengumpul air hujan, air tersebut dapat disalurkan ke dalam akuifer dengan cepat, mengurangkan risiko kekeringan dan meningkatkan kualiti air tanah dalam jangka panjang.
9. Teknik injeksi air hujan berfungsi sebagai salah satu strategi utama dalam mengurangkan aliran permukaan yang boleh menyebabkan banjir kilat. Dengan meresapkan air hujan ke dalam tanah melalui kolam penyusupan, saluran hijau, atau telaga imbuhan, air hujan dapat disimpan dalam akuifer dan tidak mengalir ke sistem saliran.
10. Iacobelli et al. (2021) dalam kajian mereka yang diterbitkan dalam *Water Science and Technology* menunjukkan bahawa sistem penyusupan air hujan yang digabungkan dengan injeksi air ke dalam akuifer dapat mengurangkan kadar aliran permukaan yang berlebihan dan seterusnya mengurangkan risiko banjir kilat. Mereka turut menyarankan penggunaan injeksi air hujan di kawasan bandar untuk mengatasi masalah aliran permukaan yang berlebihan.
11. Fathizadeh et al. (2022) dalam *Journal of Environmental Management* mengkaji kesan penggunaan injeksi air hujan dalam mengatasi banjir kilat di bandar-bandar besar di negara maju. Hasil kajian mereka menunjukkan bahawa penggunaan sistem saliran hijau yang dilengkapi dengan teknologi injeksi air hujan secara berterusan dapat mengurangkan kejadian banjir kilat yang disebabkan oleh hujan lebat yang tidak dapat disalurkan dengan cepat.

POLISI DAN GARISAN PANDUAN

Injeksi Air Hujan ke dalam Akuifer

Penggunaan injeksi air hujan ke dalam akuifer memerlukan polisi dan garis panduan yang ketat untuk memastikan keselamatan alam sekitar, kualiti air tanah, dan keberkesanan sistem penyusupan. Polisi ini perlu melibatkan peraturan yang berkaitan dengan pengurusan air hujan, teknik penyusupan yang sesuai, pemantauan berterusan, dan perlindungan terhadap sumber air tanah.

Berikut adalah beberapa **polisi dan garis panduan utama** yang perlu dipatuhi dalam penggunaan injeksi air hujan ke dalam akuifer:

1. Polisi Pengurusan Air

- **Pengurusan Sumber Air yang Lestari:** Polisi pengurusan air perlu mengutamakan penggunaan sumber air secara lestari dengan memastikan bahawa air hujan yang disuntik ke dalam akuifer tidak akan mencemarkan atau merosakkan ekosistem air tanah. Keutamaan harus diberikan kepada pemulihan akuifer yang telah terjejas atau yang sedang mengalami kekurangan air.
- **Integrasi dengan Sistem Pengurusan Sumber Air:** Injeksi air hujan hendaklah diintegrasikan dengan **sistem pengurusan air yang lebih besar** yang melibatkan perancangan penggunaan air hujan secara efisien, serta penyesuaian dengan sumber air permukaan dan sistem saliran yang ada.

2. Polisi Alam Sekitar dan Keselamatan

- **Kualiti Air:** Air hujan yang akan disuntik ke dalam akuifer perlu dipastikan **bebas daripada pencemaran** dan memenuhi piawaian **kualiti air tanah** yang ditetapkan oleh pihak berkuasa tempatan atau negara. Polisi ini memerlukan rawatan dan penapisan air hujan yang betul sebelum injeksi. Penggunaan **teknologi penapisan bertingkat** dan **pembasmian kuman** (misalnya, menggunakan sistem klorinasi atau ozonasi) adalah langkah penting untuk memastikan kualiti air.
- **Pemantauan Kualiti Air tanah:** Pemeriksaan berkala terhadap **kualiti air tanah** adalah penting untuk memastikan bahawa tiada bahan pencemar seperti

logam berat atau bahan kimia berbahaya yang terkumpul di dalam akuifer. Kesan jangka panjang terhadap kualiti air harus dipantau secara berterusan.

3. Garis Panduan Teknikal untuk Injeksi Air Hujan

- **Penentuan Kapasiti dan Lokasi Sistem Injeksi:** Lokasi telaga imbuhan dan sistem penyusupan perlu ditentukan berdasarkan kajian geologi yang teliti. Kawasan yang mempunyai **permeabilitas tanah tinggi** dan **kedalaman akuifer yang sesuai** perlu diutamakan untuk proses injeksi.
- **Reka Bentuk dan Pembinaan Telaga Imbuhan:** Telaga Imbuhan yang digunakan untuk menyuntikkan air hujan perlu dibina mengikut **standard reka bentuk** yang memastikan keberkesanan dan keselamatan. Ini termasuk diameter telaga, kedalaman, dan bahan yang digunakan untuk memastikan air dapat disuntik tanpa menjejaskan struktur tanah dan akuifer.
- **Hadkan Kadar Injeksi:** **Kadar injeksi** harus dihadkan untuk mengelakkan **kerosakan** kepada akuifer atau **pencemaran** akibat tekanan yang terlalu tinggi. Kadar injeksi mestilah disesuaikan dengan **kapasiti penyusupan** kawasan dan **keadaan geologi** akuifer.

4. Polisi Pemulihan dan Pengisian Semula Akuifer

- **Pengisian Semula yang Seimbang:** Injeksi air hujan hendaklah dilakukan secara seimbang dan berterusan dengan kadar penyusupan yang sesuai untuk memulihkan **sumber air tanah** tanpa menyebabkan ketidakseimbangan dalam ekosistem air tanah.
- **Peningkatan Kapasiti Simpanan Air:** Projek injeksi perlu disertakan dengan strategi **peningkatan kapasiti simpanan akuifer**, terutama di kawasan yang mengalami **penurunan kadar air tanah** atau yang terdedah kepada **kemarau**.

5. Polisi Pemantauan dan Penyelidikan

- **Pemantauan Berterusan:** Keberkesanan sistem injeksi perlu dipantau dengan menggunakan **sistem pemantauan pintar** yang dapat mengesan kadar penyusupan, kualiti air, dan perubahan dalam lapisan geologi/akuifer. Pihak

berkuasa perlu melakukan **kajian jangka panjang** mengenai kesan injeksi terhadap **kualiti air** dan **struktur akuifer**.

- **Penggunaan Teknologi Canggih:** Teknologi seperti **sensor** dan **pemodelan hidrogeologi** perlu digunakan untuk meramalkan perubahan dalam kapasiti penyusupan dan untuk memastikan bahawa air yang disuntikkan ke dalam akuifer tidak mencemarkan atau mengganggu sistem air tanah.

6. Polisi Undang-Undang dan Peraturan

- **Pematuhan Terhadap Undang-Undang Alam Sekitar:** Setiap projek injeksi air hujan mesti mematuhi undang-undang dan peraturan **alam sekitar** yang ditetapkan oleh pihak berkuasa tempatan atau negara. Ini termasuk **keperluan kualiti air, kebersihan alam sekitar, dan pencegahan pencemaran**.
- **Pelesenan dan Kebenaran:** Setiap projek yang melibatkan injeksi air hujan ke dalam akuifer memerlukan **lesen dan kebenaran** daripada pihak berkuasa yang relevan. Proses ini biasanya memerlukan **kajian impak alam sekitar** (EIA) untuk menilai kesan projek terhadap ekosistem dan sumber air.

7. Polisi Pendidikan dan Kesedaran Awam

- **Kesedaran Komuniti:** Kerjasama dengan masyarakat setempat penting untuk memastikan bahawa projek injeksi air hujan diterima dan difahami. Pendidikan mengenai manfaat dan kepentingan penyusupan air hujan ke dalam akuifer perlu diberi penekanan kepada pihak yang terlibat, seperti penduduk, pembuat dasar, dan industri.
- **Penyertaan dalam Keputusan:** Penglibatan **pemegang taruh** seperti komuniti, ahli geologi, dan pengurus sumber air adalah penting untuk membuat keputusan yang menyeluruh dan berdasarkan fakta dalam merancang dan melaksanakan projek.

8. Polisi Adaptasi kepada Perubahan Iklim

- **Penyesuaian dengan Iklim Tempatan:** Polisi untuk injeksi air hujan juga harus mencakupi penyesuaian terhadap perubahan iklim, yang dapat mempengaruhi pola hujan, kualiti air hujan, dan kadar penyusupan air ke dalam

tanah. Proses perancangan dan reka bentuk sistem injeksi perlu disesuaikan dengan perubahan iklim yang dijangka.

Manfaat Injeksi Air Hujan ke dalam Akuifer

- **Pemulihan Akuifer:** Injeksi air hujan membantu **mengembalikan** simpanan tanah yang telah berkurang akibat **penggunaan berlebihan** atau **kemarau panjang**.
- **Pengurangan Banjir Kilat:** Dengan mengarahkan air hujan terus ke dalam tanah, ia mengurangkan **aliran permukaan** yang boleh menyebabkan banjir.
- **Keberlanjutan Sumber Air:** Menggunakan air hujan untuk mengisi semula akuifer menjadikan sistem bekalan air lebih **berdaya tahan** dan kurang bergantung pada **sumber air permukaan** yang mungkin terjejas oleh perubahan iklim.
- **Meningkatkan Kualiti Air:** Air hujan yang disuntik ke dalam akuifer boleh diproses dan ditapis untuk memastikan ia **bersih** dan **selamat** sebelum digunakan sebagai sumber air.

Cabaran dan Pertimbangan

Walaupun teknik ini mempunyai banyak manfaat, terdapat beberapa cabaran yang perlu diambil kira:

- **Kualiti Air:** Kualiti air hujan perlu dipastikan bebas dari pencemaran untuk mengelakkan **kerosakan kepada akuifer** atau **pencemaran air tanah**.
- **Kapasiti Akuifer:** Setiap akuifer mempunyai **kapasiti simpanan** yang terhad. Jika terlalu banyak air disuntikkan tanpa mempertimbangkan **kapasiti akuifer**, ia boleh menyebabkan **kerosakan** pada lapisan akuifer atau menyebabkan **penurunan tekanan** yang berlebihan.
- **Pemantauan Berterusan:** Proses injeksi memerlukan **pemantauan berterusan** untuk memastikan ia berfungsi dengan baik dan **tidak mencemarkan sumber air tanah**.

Kesimpulan

Polisi dan garis panduan mengenai injeksi air hujan ke dalam akuifer perlu menggabungkan aspek teknikal, perundangan, alam sekitar, dan sosial untuk memastikan kejayaan dan keberkesanan sistem penyusupan. Polisi yang baik bukan sahaja memberi tumpuan kepada keberkesanan teknikal, tetapi juga kepada keselamatan alam sekitar, pemeliharaan kualiti air, serta pengurusan sumber air yang lestari. Dengan pemantauan berterusan dan penyesuaian strategi, injeksi air hujan boleh menjadi penyelesaian yang berkesan untuk mengatasi masalah kekurangan air, banjir kilat, dan pemulihan akuifer.