



**Bulletin of Scientific Contribution  
GEOLOGY**

**Fakultas Teknik Geologi  
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>  
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 22, No.2  
Agustus 2024

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK GEOLOGI PADA FENOMENA TUMBUKAN METEOR  
DI DAERAH CILETUH, JAWA BARAT DAN FENOMENA LAINNYA  
DI BERBAGAI BELAHAN DUNIA (LITERATURE REVIEW)**

**Tri Hananto Priyo Sambodo<sup>1\*</sup>, Emi Sukiyah<sup>2</sup>, Johannes Hutabarat<sup>2</sup>, Cipta Endyana<sup>2</sup>**

Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Geologi - Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

\*Korespondensi: tri.minegeologist@gmail.com

**ABSTRACT**

*This article provides an understanding of the phenomenon of meteor impacts on the earth's surface, especially in the Unesco Global Geopark (UGGp) Ciletuh, Palabuhan Ratu area, West Java. The method used in this research is Systematic Literature Review (SLR), involving analysis of the results of previous research that has been carried out on similar phenomena in various parts of the world. It is hoped that by knowing the characteristic and aspects resulting from meteorite impact phenomenon can preserve and provide knowledge to public about the geoheritage which have positive impact on region area. The research results show that every meteorite impact phenomenon on Earth has a unique geological character and tends to be the same. One of the phenomena that occur in the Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu area, Indonesia, is that there is unique evidence in the form of ring-shaped morphology as an indication of the formation of a crater due to an impact. Other evidence is the discovery of a rock structure that resembles a shatter-cone. Another similar phenomenon was found at the Yilan Crater site in China, namely evidence of a crater formation that resembles a simple crater and a ridge formation that looks unique. Other research also revealed a magnetic anomaly at the Zagami Meteorite Impact Site in Nigeria, indicating the possibility of a hidden crater that resembles a simple crater resulting from an impact involving large amounts of energy. The Lonar impact crater site in India is also a meteorite impact crater found on a basalt surface, along with a central crater lake which is a research attraction. Likewise at other sites such as the Barringer impact crater and the Bolaven volcanic field which have characteristics and similarities due to meteor impacts. Further research is certainly needed to understand the potential for evidence of meteor impact in Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu, including through photomicrograph analysis. Overall, these studies provide a deeper understanding of the occurrence of meteor impacts and the evidence.*

**Keywords:** Meteorite impact, Ciletuh, Geopark, Geology, Crater

**ABSTRAK**

Artikel ini memberikan pemahaman terhadap karakteristik fenomena tumbukan meteor di permukaan bumi, khususnya di wilayah Unesco Global Geopark (UGGp) Ciletuh Palabuhan Ratu, Jawa Barat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Systematic Literature Review (SLR), yang melibatkan analisis hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan terhadap fenomena serupa di berbagai belahan dunia. Diharapkan dengan mengetahui karakteristik serta aspek-aspek yang ditimbulkan dari fenomena tumbukan meteor ini kedepannya dapat melestarikan dan memberikan pengetahuan kepada masyarakat akan kekayaan warisan geologi yang dapat memberikan dampak positif bagi daerah setempat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap fenomena benturan meteorit di bumi memiliki karakter geologi yang unik dan cenderung sama. Fenomena yang terjadi di daerah Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu, Indonesia, salah satunya yaitu terdapat bukti unik berupa morfologi berbentuk cincin sebagai petunjuk terbentuknya kawah akibat benturan. Bukti lainnya yaitu ditemukannya struktur batuan yang menyerupai shatter-cone. Fenomena lainnya yang serupa ditemukan pada situs Yilan Crater di Cina, yaitu bukti adanya bentukan kawah yang menyerupai kawah sederhana dan bentukan punggung yang nampak unik. Penelitian lainnya juga mengungkap adanya anomali magnetik di Zagami Meteorite Impact Site di

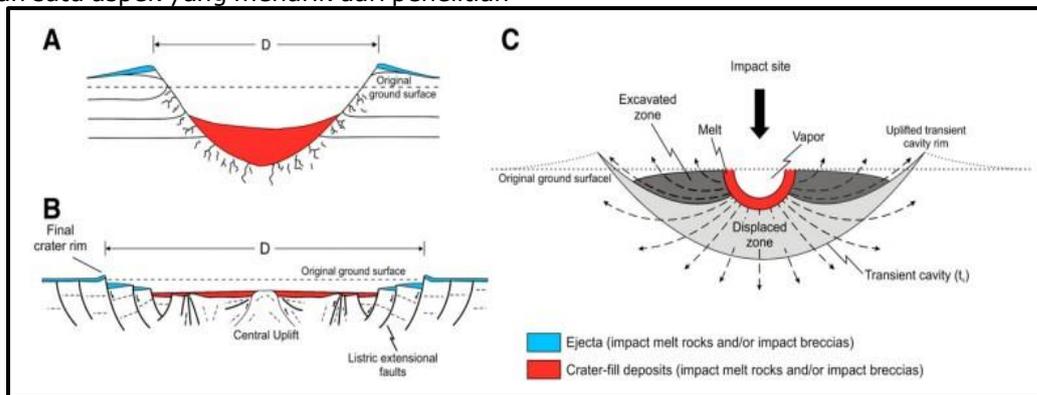
Nigeria, mengindikasikan kemungkinan adanya kawah tersembunyi yang menyerupai bentuk kawah sederhana hasil tumbukan yang melibatkan energi yang besar. Situs Lonar impact crater di India juga merupakan kawah dampak meteorit yang ditemukan pada permukaan basalt, beserta dengan danau kawah sentral yang menjadi daya tarik penelitian. Begitu pula pada situs lainnya seperti Barringer impact crater dan Bolaven volcanic field yang memiliki ciri dan persamaan akibat tumbukan meteor. Penelitian lebih lanjut tentunya diperlukan untuk memahami potensi adanya bukti keterjadian tumbukan meteor di Kawasan Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu, diantaranya melalui analisis photomicrograph. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian tersebut memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang keterjadian tumbukan meteor beserta bukti-buktinya.

**Kata kunci:** Benturan meteorit, ciletuh, geopark, geologi, kawah

## PENDAHULUAN

Dampak meteorit dan implikasinya terhadap bumi merupakan fokus kajian utama yang telah menarik perhatian dan minat peneliti dari berbagai bidang studi, khususnya geologi dan astronomi, selama berabad-abad. Penelitian dalam topik ini menawarkan wawasan yang berharga, membuka jendela ke dalam peristiwa geologi yang signifikan dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar. Salah satu aspek yang menarik dari penelitian

ini adalah karakteristik geologi yang khas yang dihasilkan oleh benturan meteor. Struktur-struktur benturan akibat meteor ini, baik yang tampak jelas atau yang tersembunyi di bawah permukaan, memberikan petunjuk penting tentang dinamika dan intensitas benturan, serta efek langsung dan tidak langsung yang dihasilkannya pada lingkungan sekitar (Osinski et al., 2011).



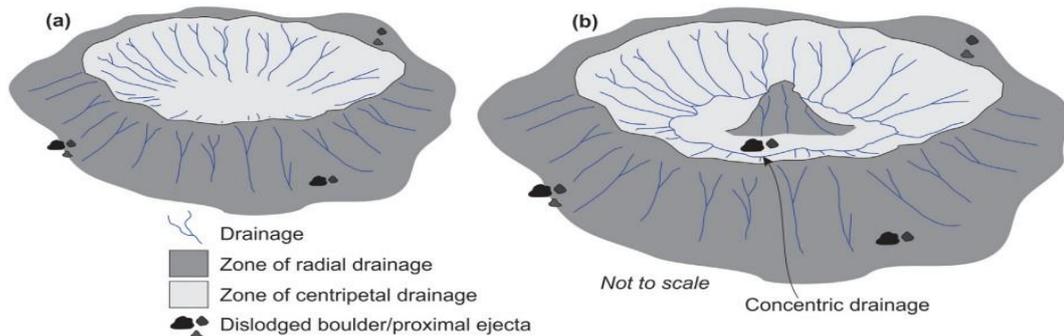
Gambar 1. Gambar skematik dari tipe pembentukan kawah akibat tumbukan meteor. (A) Pembentukan kawah sederhana, (B) pembentukan kawah kompleks. (Osinski et al., 2011)

Karakteristik geologi yang khas ini dapat menjadi titik awal dalam memahami bagaimana kehidupan di bumi mungkin telah dipengaruhi atau beradaptasi dengan fenomena tumbukan ini. Misalnya, benturan meteorit yang besar mungkin telah mengubah iklim dan merusak ekosistem, namun juga mungkin telah membuka peluang untuk evolusi dan diversifikasi kehidupan. Terdapat 2 (dua) ciri bentuk umum kawah hasil tumbukan meteor yang terdapat di bumi berdasarkan peneliti sebelumnya (Osinski et al., 2011), yaitu bentuk kawah sederhana dan bentuk kawah kompleks. Bentuk-bentuk kawah tersebut tentunya dipengaruhi oleh gaya dan energi yang terlibat saat keterjadiannya.

Umumnya pada fenomena yang diduga terkena tumbukan meteor memiliki karakter kawah sederhana dengan penciри terdapat material "ejecta" yang menjadi objek penelitian secara rinci dari jenis meteor yang menyebabkan kawah tersebut. Namun ada

juga fenomena tumbukan meteor yang mengakibatkan terbentuknya kawah kompleks, biasanya hal ini terkait struktur geologi dan litologi yang berkembang pada daerah terimbas tumbukan meteor tersebut. Pola aliran sungai juga merupakan indikasi yang memberikan ciri atau tanda suatu daerah pernah dipengaruhi oleh tumbukan meteor, diantaranya adalah pola aliran radial, sentripetal, dendritik maupun meander yang umumnya diidentifikasi disekitar kawah dan rim. Penelitian oleh (Ummah et al., 2018) telah mencetuskan hipotesis baru bahwa wilayah Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu, Jawa Barat, Indonesia mungkin pernah menjadi lokasi benturan meteor. Hipotesis ini didasarkan pada berbagai bukti lapangan yang menunjukkan adanya bentukan lahan dan struktur batuan yang biasanya diasosiasikan dengan fenomena benturan meteor. Benturan meteor merupakan fenomena alam yang memiliki potensi dalam

menciptakan dampak signifikan pada kondisi geologi dan lingkungan sebuah wilayah.



Gambar 2. Sketsa skematik bentuk kawah dampak benturan meteor dan tipe pola aliran yang berkembang di sekitarnya. (Indu et al., 2021)

Studi mengenai benturan meteorit telah dilakukan di berbagai belahan dunia, mencakup beragam metode dan pendekatan untuk memahami dampak dan implikasinya. *Geopark* Ciletuh Palabuhan Ratu, yang berlokasi di Jawa Barat, Indonesia, adalah salah satu lokasi yang diketahui memiliki bukti sebagai tempat benturan meteor. (Ummah et al., 2018) menunjukkan melalui penelitian awal mereka bahwa daerah ini menunjukkan karakteristik geologi yang konsisten dengan benturan meteor, namun studi lebih lanjut diperlukan untuk memvalidasi dan memahami lebih detail dampak dari benturan ini. Studi tentang meteorit dan struktur dampak yang dihasilkannya memegang peranan penting dan berharga dalam ilmu geologi dan astronomi. Dalam konteks yang lebih luas, pengetahuan tentang meteorit dan efek yang dibawa tidak hanya meningkatkan pemahaman kita tentang peristiwa-peristiwa geologi skala besar tetapi juga membantu kita memahami potensi risiko dan ancaman yang mungkin ditimbulkan oleh benda-benda antariksa ini (Erickson et al., 2020). Secara khusus, penelitian yang fokus pada pengidentifikasian dan analisis morfologi dan struktur benturan meteorit dapat memberikan wawasan unik tentang sejarah geologi planet bumi dan perubahan lingkungan yang berhubungan dengan peristiwa tersebut.

Penelitian tentang meteorit dan dampak benturan memegang peranan penting dalam rangka memahami peristiwa-peristiwa geologi skala besar serta potensi ancaman yang akan terjadi. Meteorit dan benturan dengan planet bumi memiliki dampak yang signifikan dan dapat merubah bentuk dan karakteristik geologi daerah yang terimbas, dengan konsekuensi yang bisa sampai ke titik mempengaruhi kehidupan di bumi itu sendiri (Erickson et al., 2020). Perbandingan

benturan meteor pada berbagai lokasi dapat memberikan wawasan yang berharga tentang dinamika dan dampak dari peristiwa ini, khususnya kawasan *Geopark* Ciletuh Palabuhan Ratu di Jawa Barat, Indonesia, telah menjadi fokus penelitian seiring dengan ditemukannya petunjuk bahwa daerah ini mungkin telah mengalami benturan meteor (Ummah et al., 2018). Untuk memahami lebih lanjut konteks dan dampak dari benturan ini, penting untuk membandingkannya dengan benturan lain pada fenomena di belahan dunia yang telah didokumentasikan dalam literatur ilmiah. Salah satu cara yang mungkin dilakukan adalah dengan membandingkan ciri-ciri geologi yang dihasilkan oleh benturan di kawasan *Geopark* Ciletuh Palabuhan Ratu dengan yang ada di lokasi lain. Misalnya, (French & Koeberl, 2010) menyebutkan bahwa benturan meteorit biasanya menciptakan morfologi dan "struktur benturan" yang unik, seperti lingkaran konsentris dan formasi gelombang kejut. Tentu saja, penting untuk mencatat bahwa setiap benturan meteor adalah unik dan dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk ukuran dan komposisi meteor, serta faktor kondisi geologi dan lingkungan tempat benturan terjadi (Osinski et al., 2011). Namun, dengan membandingkan dan menganalisis peristiwa ini, kita dapat memperoleh wawasan yang lebih baik tentang proses dan dampak dari benturan meteor, baik di *Geopark* Ciletuh Palabuhan Ratu maupun di tempat lain yang ada dunia.

#### Definisi dan Konsep Benturan Meteor

Meteor, yang diartikan sebagai partikel-partikel luar angkasa berukuran kecil hingga sangat besar yang terdiri dari bahan-bahan seperti bebatuan, logam, atau kombinasi keduanya, bergerak melintasi tata surya dengan kecepatan tinggi. Menjelajahi tata

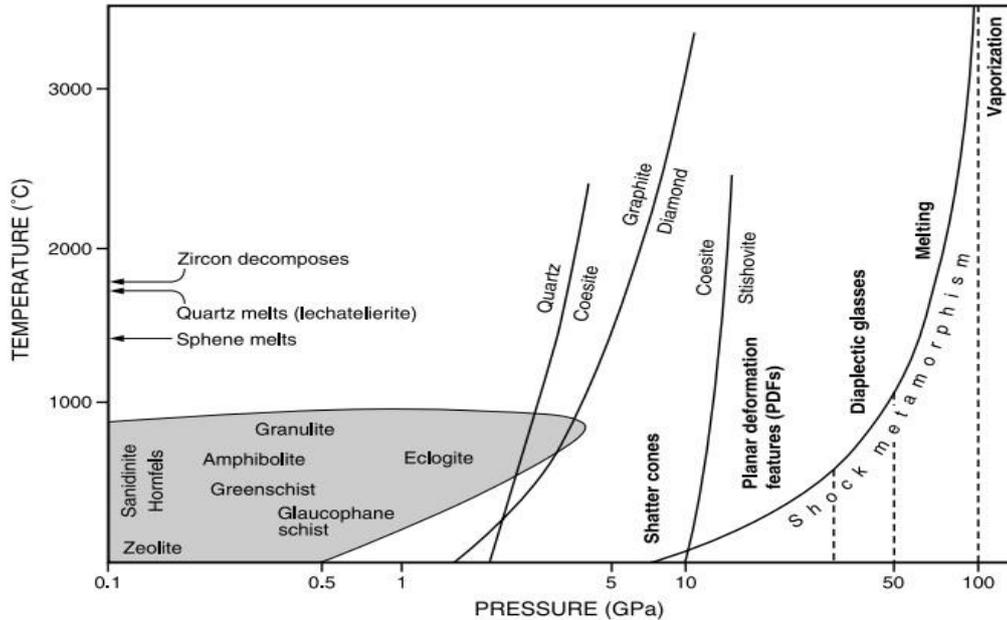
surya dalam perjalanannya, partikel ini seringkali mengalami peristiwa benturan ketika mereka memasuki atmosfer bumi. Fenomena ini yang dikenal sebagai benturan meteor, mencakup berbagai skenario yang berkisar dari meteor yang meledak dalam atmosfer sebelum sempat mencapai permukaan bumi, hingga kasus yang lebih jarang terjadi namun signifikan ketika meteorit yang cukup besar mampu menabrak dan mencapai permukaan bumi, menghasilkan formasi geologi yang dikenal sebagai "struktur benturan" (French & Koeberl, 2010).

Beragam bukti dari hasil tumbukan meteor di permukaan bumi telah ditemukan oleh peneliti sebelumnya selain dari bukti morfologi yang unik bentukan lahan yang unik, diantaranya adalah penelitian terkait "*Shock Metamorphism*" oleh Stöffler, 1971 yang mengemukakan derajat batuan ubahan oleh karena pengaruh suhu dan tekanan yang sangat tinggi karena dampak tumbukan meteor. Energi yang menghantam permukaan tersebut akan merubah komposisi batuan yang terkena tumbukan oleh karena panas dan tekanan yang sangat tinggi. Struktur dari benturan akibat tumbukan meteor ini juga berfungsi sebagai jendela waktu ke kondisi primitif bumi, memberikan petunjuk berharga tentang bagaimana kehidupan pertama kali muncul dan berkembang. Dalam konteks ini, penelitian tentang benturan meteor dan struktur benturan menjadi penting tidak hanya dalam upaya untuk memahami sejarah geologi bumi yang kompleks dan dinamis, tetapi juga dalam menjawab pertanyaan-pertanyaan penting tentang asal-usul dan evolusi kehidupan di planet bumi (Sleep et al., 1989). Dengan demikian, memahami benturan meteor dan dampaknya memiliki implikasi yang luas dan signifikan di berbagai bidang studi, termasuk geologi, astronomi, biologi, dan studi perubahan iklim.

#### **Ciletuh Palabuhan Ratu, Jawa Barat**

Ciletuh merupakan situs geologi yang terletak di provinsi Jawa Barat bagian selatan yang

memiliki beberapa keunikan, diantaranya terdapatnya batuan tertua di pulau Jawa, batuan *melange*, batuan metamorf serta sedimen bawah laut yang tersingkap di permukaan. Oleh karena keunikan tersebut Ciletuh adalah laboratorium alam geologi yang sangat penting untuk dapat dikaji dan diteliti. Pada tahun 2018 Ciletuh dianugerahi sebagai *International Geopark* (taman bumi) yang ada di Indonesia oleh UNESCO. Geologi daerah Ciletuh menunjukkan bukti tumbukan antar lempeng antara lempeng Eurasian dan lempeng Indonesian Australian. Umur batuan pada daerah Ciletuh diperkirakan sekitar pra tersier (120 – 65 juta tahun yang lalu). Kehadiran dari singkapan-singkapan ini merupakan hasil dari proses tektonik yang sangat kompleks. Umumnya pada daerah Ciletuh telah mengalami deformasi yang kuat dibuktikan dengan kehadiran struktur berupa sesar, kekar dan lipatan (Ummah et al., 2018). Pola morfologi pada daerah Ciletuh yaitu terdapat penyebaran punggungan bukit dan pegunungan yang disebut *mega-amphitheater* oleh karena bentuknya yang berupa setengah lingkaran yang mengelilingi kawah sederhana (Ummah et al., 2018). Morfogenesis dari pembentukan punggungan/pegunungan pada sekeliling kawah tersebut sampai saat ini masih dalam penelitian dan kajian lebih lanjut. Bentukan lahan pada daerah Ciletuh dipengaruhi oleh struktur geologi yang membentuk perbukitan dan pegunungan. Beberapa ahli berpendapat bahwa pada daerah lembah terbentuk bukan karena faktor tektonik melainkan karena runtuh raksasa atau mungkin bekas tumbukan meteor dengan energi yang besar. Selain itu ditemukan juga beberapa bukti struktur batuan dilapangan pada sekitar kawah yang diduga hasil dari tumbukan meteor yang menyerupai bentuk fisik menyerupai kerucut oleh karena pengaruh *shock metamorphism* seperti *shatter cone*. Kemajuan dalam teknologi analisis isotop telah memungkinkan para peneliti untuk mempelajari meteorit dan struktur benturan yang dihasilkan.



Gambar 3. Skala Shock Metamorphism akibat tumbukan Meteor. (Stöffler, 1971)

Analisis isotop dapat memberikan informasi tentang usia dan asal-usul meteorit, serta kondisi lingkungan pada saat benturan (Sleep et al., 1989). Metode penelitian yang baru ini telah memperluas pemahaman kita tentang benturan meteorit dan dampaknya. Namun, tantangan masih ada, dan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk terus memperkaya pengetahuan kita tentang peristiwa ini dan implikasinya bagi bumi dan kehidupan di dalamnya.

**METODE PENELITIAN**

Metodologi *Systematic Literature Review* (SLR) digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis literatur ilmiah yang membahas

benturan meteorit di *Geopark* Ciletuh Palabuhan Ratu dan benturan meteorit lainnya di belahan dunia dari aspek geologi. Pemilihan literatur dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan, seperti relevansi dengan topik penelitian, kualitas metodologi, dan data relevan yang disajikan. Dengan menerapkan metode SLR, akan memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang perbandingan antara benturan meteorit di *Geopark* Ciletuh dengan benturan meteorit lainnya yang telah didokumentasikan dalam literatur ilmiah khususnya dari aspek geologi.



Gambar 4. Lokasi daerah Ciletuh yang terletak di Provinsi Jawa Barat (kotak merah)

Hasil tulisan ini akan memberikan wawasan yang lebih baik tentang karakteristik, geologi oleh karena dampak benturan meteor, serta konteks dari benturan meteor pada daerah *Geopark Ciletuh* dalam perbandingan dengan fenomena benturan meteor di lokasi lainnya di belahan dunia. Melalui pendekatan SLR ini pula penulis berupaya untuk menyajikan pengetahuan yang komprehensif dan terkini tentang benturan meteorit serta dampaknya. Dengan mempelajari literatur dan mensintesis berbagai penelitian yang telah ada sebelumnya, akan memberikan pandangan yang lebih jelas dan terintegrasi tentang bagaimana pemahaman kita tentang benturan meteorit dan dampaknya

**DISKUSI DAN PEMBAHASAN**

Analisis yang digunakan pada kajian kali ini adalah dengan membandingkan fenomena tumbukan meteorit yang terdapat pada beberapa situs di belahan bumi. Diharapkan dengan mengetahui karakteristik serta aspek-aspek yang ditimbulkan dari fenomena tumbukan meteor ini kedepannya dapat melestarikan dan memberikan pengetahuan

kepada masyarakat akan kekayaan warisan geologi yang dapat memberikan dampak positif bagi daerah setempat.

**Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu**

Studi oleh Ummah et al., 2018) mengenai tumbukan meteor yang melibatkan energi yang besar pada daerah *Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu*, Jawa Barat, Indonesia melalui pendekatan penginderaan jauh dengan mempelajari bentukan lahan daerah tumbukan meteor, pengamatan lapangan terkait struktur geologi yang berkembang serta analisis batuan yang terpengaruh oleh benturan meteor, memberikan gambaran bahwa daerah *Ciletuh* sangat kuat diduga pernah mengalami benturan gaya yang besar serta temperatur yang sangat tinggi. Selain itu, dibuktikan juga dengan terdapatnya tebing setengah lingkaran yang disebut *mega-amfiteater* yang menunjukkan dampak meteorit mungkin memicu terbentuknya pola ini. Studi ini juga menemukan bukti morfologi cincin dan batu yang menyerupai *shatter-cone* di area *mélange*.

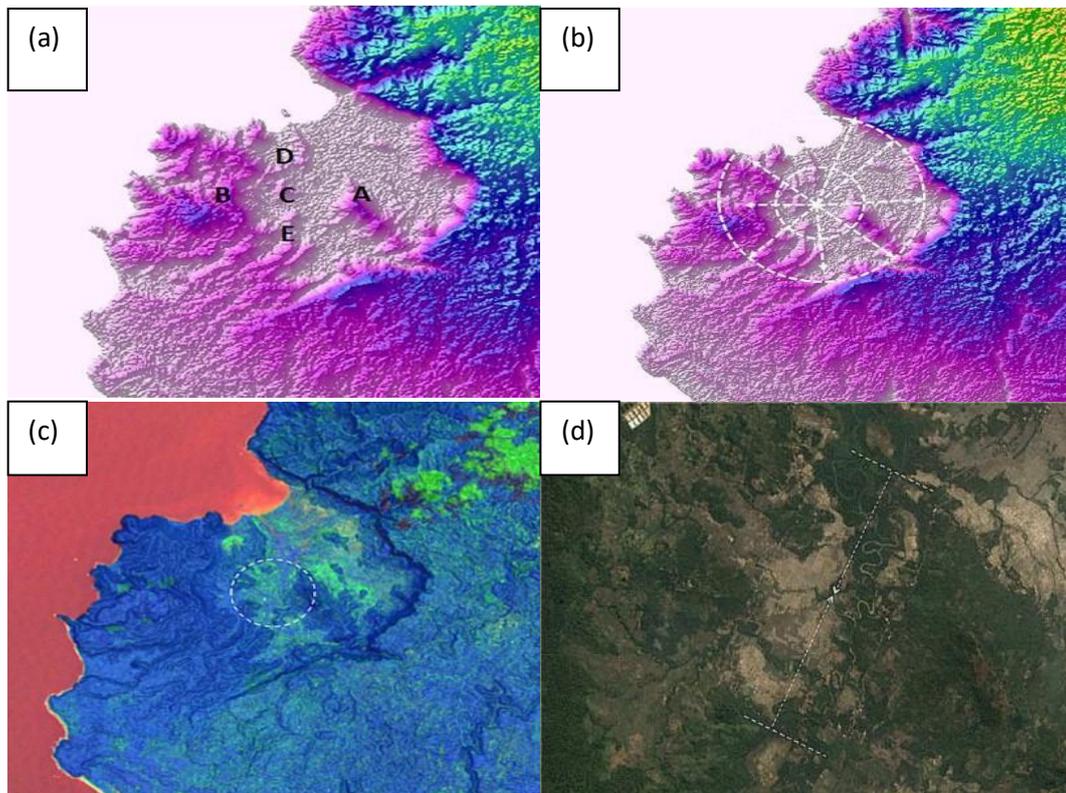
Tabel 1. Perbandingan Hasil Kajian/Penelitian Tumbukan Meteor di Belahan Dunia.

Penelitian	Lokasi Situs	Bukti Temuan Lapangan
Ummah et al., 2018	Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu, Jawa Barat - Indonesia	Ditemukan area dengan tebing berbentuk setengah lingkaran ( <i>semi circle</i> ) yang disebut <i>mega-amfiteater</i> . Kemungkinan penyebabnya adalah dampak meteorit yang memicu <i>mega slump</i> . Ada bukti morfologi cincin dan pola aliran meander yang mungkin adalah petunjuk kawah ciletuh terpengaruh dampak tumbukan, serta struktur batuan yang menyerupai <i>shatter-cone</i> yang ditemukan di area Ciletuh.
Chen et al., 2021	Yilan Impact Crater - China	Adanya bukti tumbukan meteorit seperti bentukan kawah unik yang terjadi akibat benturan benda asing, serta batuan granit yang telah meleleh dan <i>recrystallized</i> , serta tekstur <i>Planar Deformation Features</i> (PDFs) pada kuarsa. Memiliki bentukan kawah yang sama dengan apa yang ditemukan di area Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu, yaitu dengan bentuk <i>semi circular</i> yang mengindikasikan adanya pengaruh tumbukan meteor. Hal ini diperkuat dengan ditemukannya struktur <i>Planar Deformation Features</i> .
Oyenyi, 2022	Zagami Meteorite Impact Site - Nigeria	Anomali magnetik negatif berbentuk elips yang terdeteksi di bawah permukaan lokasi ditemukannya sampel meteorit, dengan struktur yang mengindikasikan kemungkinan adanya kawah dampak tersembunyi. Melimpahnya breksi yang terletak di bawah kawah tersembunyi sebagai bukti pernah terjadi deformasi yang sangat masif. Ditemukannya morfologi bawah permukaan berupa kawah yang secara fisik dan morfologi sama seperti bentuk kawah yang ada pada Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu yaitu bentukan kawah sederhana. Metoda yang digunakan menggunakan Metoda penyelidikan Geofisika yang tidak dilakukan pada situs Geopark Ciletuh, Palabuhan Ratu.

<p>Chandran et al., 2022</p>	<p>Lonar Impact Crater - India</p>	<p>Terdapat bukti berupa bentukan kawah sederhana, serta bentuk pola struktur patahan <i>radial</i>, <i>conical</i>, <i>concentric</i> dan paralel serta dikuatkan dengan ditemukannya <i>photomicrograph</i> batuan yang terkena dampak tumbukan, yaitu terlihatnya <i>vesicle</i> yang cukup banyak dan besar, serta tekstur <i>fracture plagioklas</i> pada klinopiroksen yang teralterasi. Umumnya komponen dan matriks berbentuk <i>circular shape</i>. Bentukan kawah sederhana diidentifikasi secara morfologi sama dengan apa yang ditemukan pada Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu. Hal ini juga diperkuat dengan analisis melalui <i>photomicrograph</i> pada sampel batuan setempat. Ditemukan juga bentukan struktur batuan <i>shatter cone</i> yang mana sama seperti apa yang di temukan pada Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu akibat dari dampak tumbukan dengan energi yang besar.</p>
<p>M. Chen, 2012</p>	<p>Xiuyan Impact Crater - China</p>	<p>Terdapat Bukti bentukan lahan yang menyerupai kawah sederhana beserta pola aliran dendritik yang berkembang oleh karena dampak tumbukan meteor. Hal ini diidentifikasi mirip dengan napa yang ditemukan pada situs Geopark Ciletuh, Palabuhan Ratu.</p>
<p>Osinski et al., 2011</p>	<p>Barringer Impact Crater - Amerika Serikat</p>	<p>Terdapat bukti kawah sederhana dengan diameter 1,18 km, disertai dengan penciri berupa struktur <i>shatter</i> pada singkapan batupasir disekitar kawah Barringer. Terdapatnya material <i>ejecta deposit</i> berupa batugamping yang ditemukan di rim yang terlempar keluar dari kawah. Kawah yang ditemukan pada area Barringer ini juga diidentifikasi sama dengan kawah sederhana pada Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu. Selain itu terdapat bukti <i>shatter cone</i> yang ditemukan juga di area Ciletuh.</p>
<p>Sieh et al., 2019</p>	<p>Bolaven Volcanic Field - Laos</p>	<p>Batuan disekitar kawah mengandung komposisi <i>tektite</i>, yang ditutupi oleh lava dari gunung berapi serta ditemukannya tekstur <i>planar deformation feature</i> pada conto/sampel batuan. Pada temuan ini dilengkapi analisis laboratorium dan ditemukan tekstur PDF yang mana tidak dilakukan analisis tersebut pada batuan area Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu. Bentukan kawah yang menjadi penciri umum terkubur oleh material vulkanik, sehingga secara fisik tidak nampak secara langsung di lapangan seperti di Ciletuh.</p>

Dari pengamatan morfologi menggunakan *digital elevation model* (DEM) menunjukkan bentukan lahan oleh akibat tumbukan meteor, yaitu zona depresi yang dikelilingi oleh bentuk melingkar (*circular shape*)

dengan tonjolan (*bulge area*) pada bagian tengah kawah, seperti umumnya bentuk kawah kompleks yang terbentuk karena pengaruh tumbukan meteor.



Gambar 5. Indikasi tumbukan meteorit dilihat secara morfologi membentuk pola *semi-circle* (a). Kemungkinan letak *impact point* tumbukan meteor berdasarkan bukti deformasi dilapangan (b). Citra landsat 7 menangkap adanya kawah terkubur (c). pola aliran meander yang berkembang diatas kawah (d). (Ummah et al., 2018)

Bentukan circular ini pada umumnya ditemukan juga pada beberapa situs lainnya di belahan dunia, namun dengan menggunakan metoda dan mekanisme yang berbeda.

Pada zona depresi akibat tumbukan, berkembang pola aliran meander sungai Ciletuh pada beberapa zona/tempat yang mengindikasikan gaya kompresi yang kuat. Zona tersebut diduga terletak diatas bekas kawah hasil tumbukan meteor. Pada daerah Ciletuh ini juga ditemukan banyak struktur berupa kekar dan patahan yang tersebar sekitar kawah dan rim.

Seperti contohnya bentukan kawah circular yang ditemukan di bawah tanah melalui metoda geofisika pada situs Zagami di Nigeria, serta pada Situs Lonar di India yang ditemukan berbentuk kawah menyerupai circular shape.



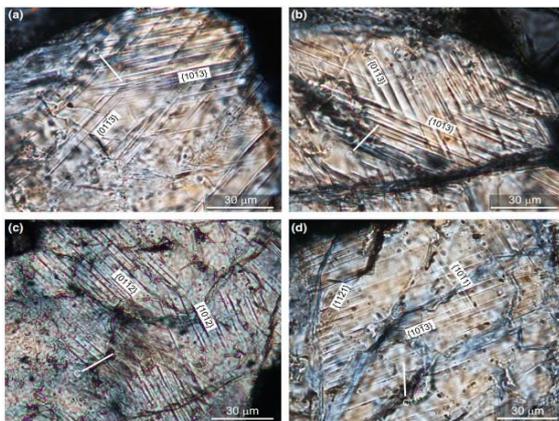
Gambar 6. Struktur batuan *Shatter-cone* ditemukan di daerah perbukitan barat laut Ciletuh. (Ummah et al., 2018)

### **Yilan Crater**

Studi oleh Chen et al., 2021 tentang *crater* Yilan di China memusatkan perhatian pada bukti fisik batuan dari tumbukan meteorit pada *crater* Yilan. Penelitian ini menemukan bukti yang signifikan tentang tumbukan meteorit, termasuk batuan granit yang telah meleleh dan mengkristal kembali, serta *Planar Deformation Features* (PDFs) pada kuarsa, fitur yang dianggap sebagai tanda khas dampak meteorit. Penanggalan karbon-14 menunjukkan bahwa peristiwa dampak itu relatif baru, dengan usia sekitar 0.0493 s.d 0.0032 Ma.

Tabel 2. *Shock Metamorphism* pada daerah kawah Yilan, Cina. (Chen et al., 2021)

Sampel	Kedalaman (m)	Granit Melting	Tekstur PDFs	Kandungan Coesite
Fragmen Batuan	110 - 114	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Fragmen Batuan	142 - 143,50	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Batuan berbutir halus	218 - 237	Melimpahnya granit melting, tekstur vesikuler	Melimpahnya tekstur PDFs pada batuan	Melimpahnya kandungan Coesite



Gambar 7. Tekstur PDFs pada conto batuan daerah kawah Yilan. (Chen et al., 2021)

*deformation features* ini masuk dalam rentang tekanan 10-35 GPa dan temperatur sekitar 600 derajat selsius saat keterjadiannya.

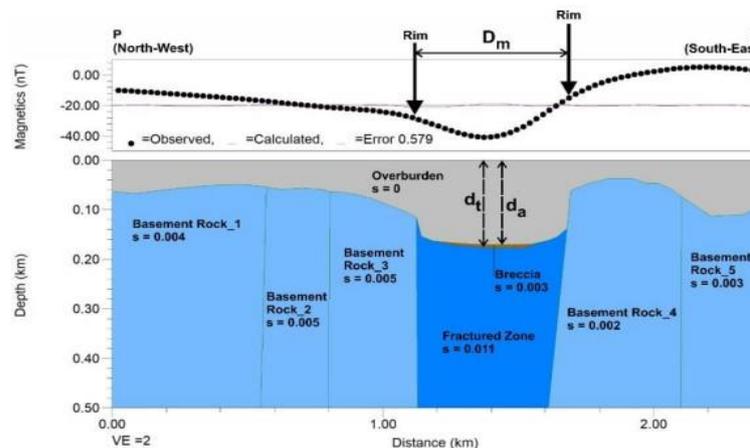


Gambar 8. Kawah Yilan, China. (Chen et al., 2021)

Terdapat bukti berupa sayatan batuan conto yang diambil melalui pengeboran inti pada daerah sekitar kawah Yilan, yaitu ditemukannya batuan dengan penciri tekstur *Planar Deformation Features* (PDFs) yang mana merupakan bukti khas terdapatnya tumbukan yang melibatkan energi yang sangat besar di daerah penelitian. Conto batuan tersebut ditemukan pada kedalaman 218 s.d 237 m. Dari skala kejadian *shock metamorphism* (Stoffler, 1971), terdapatnya tekstur *planar*

**Situs Zagami**

Studi oleh Oyeniyi et al., 2022 tentang lokasi dampak Meteorit Zagami di Nigeria yaitu dengan melakukan penelitian pada lokasi dampak Meteorit Zagami di Nigeria. Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan ilmu geofisika untuk mengetahui dimensi dan roman bentuk kawah bawah permukaan yang disinyalir merupakan hasil tumbukan meteor yang belum diketahui dengan pasti terkait umur dan mekanisme tumbukan meteor tersebut.



Gambar 9. Gambaran model 2D yang direkam dari kawah zagami, Nigeria. (Oyeniyi et al., 2022)

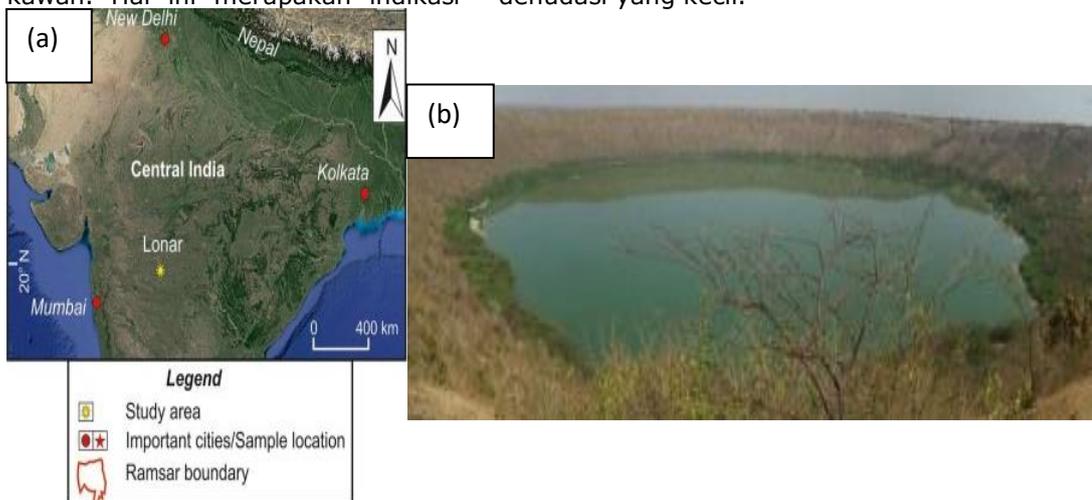
Dengan ditemukannya anomali magnetik yang berbentuk negatif (cekungan) di bawah lokasi penemuan sampel meteorit, mengindikasikan kemungkinan adanya kawah yang tersembunyi, namun saat ini masih membutuhkan banyak penelitian dan kajian untuk lebih dapat memberikan informasi bahwa daerah Zagami ini memang merupakan daerah terdampak tumbukan meteor pada masa lampau.

Dari data geofisika pada penelitian sebelumnya diketahui dimensi dan bentuk kawah sederhana daerah Zagami yang telah terkubur material sedimen penutup. Bentuk kawah tersebut merupakan anomali jika dibandingkan dengan bentuk kondisi bawah permukaan disekitarnya yang merupakan punggung dan didominasi dengan batuan *basement*. Sedangkan pada zona anomali tersebut didominasi oleh breksi serta zona kekar/*fracture* yang terdapat pada bagian bawah kawah. Hal ini merupakan indikasi

yang kuat bahwa terdapat suatu energi sangat besar yang menimbulkan deformasi pada zona tersebut.

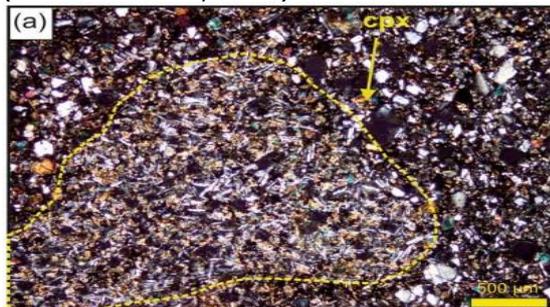
**Lonar Crater**

Studi yang dilakukan oleh Chandran et al., 2022 mengenai *Lonar Impact Crater* di India memberikan informasi tentang kawah dampak tumbukan meteorit yang terpreservasi dengan baik di permukaan. *Lonar Crater* memiliki ciri khas dengan adanya danau kawah sentral yang masih ada hingga saat ini dengan diameter kawah sepanjang 1,83 km (Chandran et al., 2021). Kedalaman kawah Lonar diperkirakan sedalam 150 meter dari punggung rim, dengan material *ejecta deposit* sebagai hasil dari tumbukan meteor tersebar sepanjang 1.350 meter dibagian luar kawah. Kawah Lonar termasuk dalam klasifikasi kawah sederhana (*simple crater*) dengan tingkat denudasi yang kecil.



Gambar 11. Lokasi kawah Lonar (a). Kawah Lonar (b). (Chandran et al., 2022)

Pola aliran yang berkembang di sekitar kawah Lonar yaitu pola *radial*, *concentric*, *conical* serta paralel yang mengindikasikan bahwa daerah Lonar ini telah terdeformasi dengan kuat oleh suatu gaya yang sangat besar (Chandran et al., 2022).

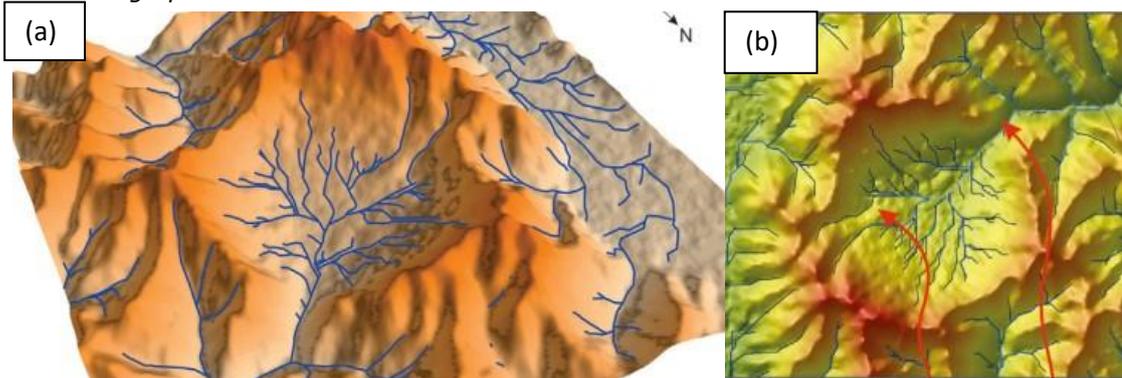


Gambar 10. Tekstur *melting* batuan terimbas tumbukan meteor pada daerah kawah Lonar. (Chandran et al., 2022)

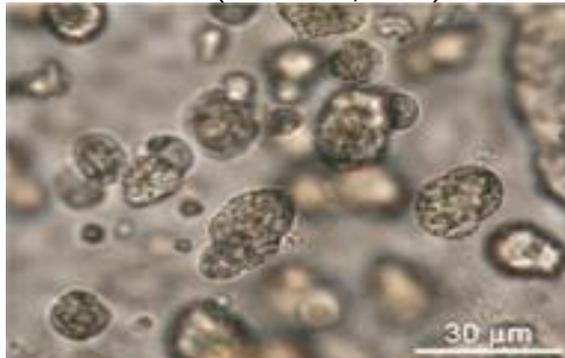
**Xiuyan Crater**

Fenomena keterdapatannya tumbukan meteor lainnya yaitu yang terjadi di daerah Xiuyan, China. Kawah Xiuyan disinyalir merupakan dari bukti hasil tumbukan meteor pada permukaan bumi yang telah berumur sekitar 50.000 tahun yang lalu (Chen et al., 2012). Terletak pada daerah dengan morfologi perbukitan antara 50 – 300 m, daerah ini didominasi oleh batuan metamorf seperti hornblend, gneiss, marmer dan granulite. Bentuk kawah Xiuyan masuk klasifikasi kawah sederhana (*simple crater*) dengan pola aliran yang berkembang merupakan pola aliran dendritik yang mencirikan pernah terjadi deformasi yang hebat pada daerah kawah Xiuyan. Dari data analisis sayatan batuan dapat disimpulkan bahwa pada daerah Xiuyan, Cina ini sangat dipengaruhi oleh deformasi yang sangat masif oleh karena faktor tumbukan meteor. Hal ini dapat terlihat dari munculnya tekstur *planar deformation*

features (PDFs) dan kandungan *coesite* pada conto batuan yang dianalisa melalui *photomicrograph*.



Gambar 12. Pola aliran dendritik yang berkembang pada kawah Xiuyan (a dan b). (Indu et al., 2021)



Gambar 12. Coesite pada sayatan batuan daerah Xiuyan. (Chen et al., 2012)

Munculnya *coesite* dapat disimpulkan bahwa keterjadian tumbukan ini melibatkan tekanan tumbukan yang cukup besar yaitu 10 GPa (Stoffler, 1971). Kawah Xiuyan ini berbentuk *simple crater* dengan tingkat denudasi yang sedang.. sebagai akibat dari tumbukan meteor diperkuat dengan berkembangnya pola pengaliran khas berupa pola aliran dendritik yang sangat dipengaruhi oleh deformasi oleh karena pengaruh dari tumbukan meteor.

### **Barringer Crater**

Fenomena lainnya adalah situs Barringer *meteorite impact* yang terletak di Arizona Amerika Serikat. Situs ini pertama kali dijelaskan oleh seorang ilmuwan dari Amerika Serikat bernama Daniel Barringer. Pada situs ini terdapat kawah sederhana (*simple crater*) yang terbentuk diduga akibat hantaman meteor yang terjadi kurang lebih sekitar 50.000 tahun yang lalu (Plistosen). Tinggi dari rim punggung kawah tersebut mendekati 50 meter dari permukaan kawah dan diameter kawah sekitar 1,18 km. Pada tahun 1960, Eugene Shoemaker menemukan mineral baru pada kawah Barringer. Mineral ini tersusun atas silika yang disebut *coesite* yang pembentukannya sangat dipengaruhi oleh suatu tekanan dan suhu yang tinggi. Hal

ini dihubungkan dengan fenomena tumbukan meteor di kawah Barringer yang memang secara struktur dan tekstur batuan di sekitar kawah mencirikan semua karakter yang sesuai dengan kondisi tumbukan meteor tersebut, seperti struktur *shattered* pada batupasir serta komponen material *ejecta deposit* yang ditemukan pada daerah dinding rim kawah Barringer ([www.craterexplorer.ca/barringer-impact-crater/](http://www.craterexplorer.ca/barringer-impact-crater/)).



Gambar 13. Kawah Barringer, Arizona, AS. ([www.craterexplorer.ca/barringer-impact-crater/](http://www.craterexplorer.ca/barringer-impact-crater/))

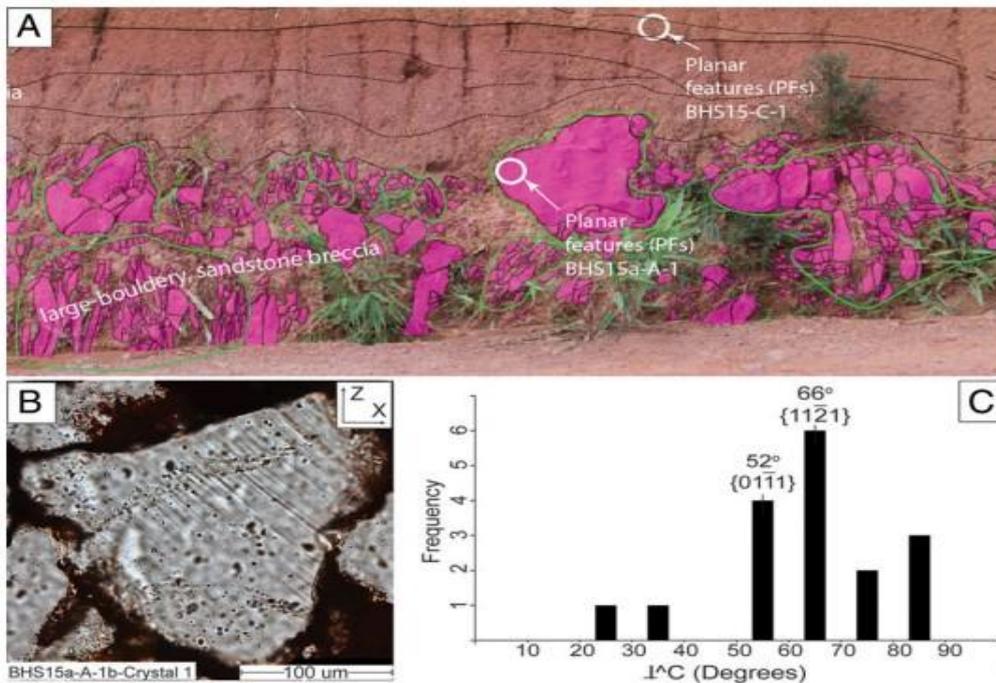


Gambar 14. Struktur *shattered cone* yg ditemukan pada zona kawah Barringer. ([www.craterexplorer.ca/barringer-impact-crater/](http://www.craterexplorer.ca/barringer-impact-crater/))

### **Bolaven Volcanic Field**

Penyelidikan tentang tumbukan meteor juga dilakukan pada daerah *Bolaven volcanic field*

di Laos oleh Sieh et al., 2019. Diduga situs Bolaven merupakan situs dampak dari tumbukan meteor salah satunya oleh karena ditemukannya kandungan mineral yang bersifat gelas dengan ukuran *pebble* yang disebut "*tektite*" sebagai bukti terjadinya tumbukan dengan energi yang sangat besar. Para ahli percaya bahwa "*tektite*" tersebut terbentuk dari material bumi yang meleleh pada saat terjadi tumbukan oleh meteorit karena tekanan dan suhu yang tinggi. Kawah ini ditutupi oleh lava dari gunung berapi, yang menyebabkan identifikasi kawah dampak benturan meteor ini menjadi lebih sulit. Namun terdapat bukti morfologi cincin yang mengindikasikan kemungkinan adanya kawah tersembunyi. Meskipun belum diketahui secara pasti, terdapat bukti tambahan yang mendukung hipotesis bahwa lokasi ini mungkin merupakan situs dampak meteorit.



Gambar 15. Tekstur PDFs pada contoh batuan sekitar Bolaven volcanic fields. (Sieh et al., 2019)

### **KESIMPULAN**

Melalui analisa citra satelit serta pemeriksaan lapangan, terdapat penemuan karakteristik geologi yang cukup identik dengan jejak benturan meteorit yang ditemukan pada beberapa situs di dunia, diantaranya adalah bentuk morfologi cincin serta struktur dan tekstur batuan yang khas. Hasil kajian perbandingan dengan situs lainnya di belahan dunia memberikan konteks yang lebih mendalam dalam memahami peristiwa yang mungkin pernah terjadi di Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu. Penemuan ini memiliki berbagai implikasi penting, mulai dari

memperkaya pengetahuan kita tentang sejarah geologi Indonesia serta diharapkan dengan mengetahui karakteristik serta aspek-aspek yang ditimbulkan dari fenomena tumbukan meteor ini kedepannya dapat melestarikan dan memberikan pengetahuan kepada masyarakat akan kekayaan warisan geologi yang dapat memberikan dampak positif bagi daerah setempat. Meskipun demikian, perlu dilakukan lebih banyak penelitian untuk mengkonfirmasi apakah *Geopark Ciletuh Palabuhan Ratu* benar-benar adalah situs dari kawah dampak meteorit.

Salah satunya melalui analisis *photomicrograph* dan *dating* umur batuan menggunakan isotop agar dapat melengkapi hasil analisis geomorfologi dan struktur batuan permukaan pada tahap awal ini. Selain itu penelitian lanjutan dapat mencakup penelitian geofisika seperti seismik, survei gravitasi, atau analisis mineral lebih detail untuk mengidentifikasi bukti dan jejak proses benturan oleh meteorit. Pada akhirnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjutan dalam rangka mengetahui lebih jauh dampak dari benturan meteorit terhadap lingkungan geologi dan ekosistem lokal. Ini dapat mencakup studi tentang bagaimana benturan mempengaruhi proses erosi dan sedimentasi di area tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Chandran, S.R., James, S., Janardhanan, A., Padmakumar, D., 2022. Lonar Impact Crater India: The Best-Preserved Terrestrial Hypervelocity Impact Crater in Basaltic Terrain as a Potential Global Geopark. *Geoheritage* 14(4).
- Chen, M., 2012. Impact-derived features of the Xiuyan meteorite crater. *Chinese Science Bulletin*, vol. 53 no. 3, pp. 392-395, 2008.
- Chen, M., Koeberl, C., Tan, D., Ding, P., Xiao, W., Wang, N., Chen, Y., Xie, X., 2021. Yilan crater China: Evidence for an origin by meteorite impact. *Meteorite and Planetary Science* 56 Nr 7, 1274-1292.
- Erickson, T.M., Kirkland, C.L., Timms, N.E., Cavosie, A.J., Davison, T.M., 2020. Precise radiometric age establishes Yarrabubba Western Australia as Earth's oldest recognised meteorite impact structure. *Nature Communications*, 11(300).
- French, B.M., Koeberl, C., 2010. The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth-Science Reviews*, 98(1-2), 123-170.
- Indu, G.K., James, S., Chandran, S.R., Aneeshkumar, V., Keerthy, S., Oommen, T., Sajinkumar, K.S., 2022. Deriving a denudation index for terrestrial meteorite impact craters using drainages as proxies.
- Osinski, G. R., Grieve, R.A., Bleacher, J.E., 2011. Impact ejecta emplacement on terrestrial planets. *Earth and Planetary Science Letters*. 310(3-4), 167-181.
- Oyeniya, T.O., 2022. Aeromagnetic Reconnaissance of Zagami Meteorite Impact Site Katsina State North-Western Nigeria for an Impact Crater. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 11(04):381-388.
- Sieh, K., Herrin, J., Jicha, B., Angel, D.A., Moore, J.D.P., Banerjee, P., Wiwegwin, W., Sihavong, V., Singer, B., Chualaowanich, T., Charusiri, P., 2019. Australian Impact Crater Buried under The Bolaven Volcanic Field, Southern Laos. *Earth, Atmospheric and Planetary Sciences*. 117 (3) 1346-1353.
- Sleep, N.H., Zahnle, K., Kasting, J.F., Morowitz, H.J., 1989. Annihilation of ecosystems by large asteroid impacts on the early Earth. *Nature* 342(6246), 139-142.
- Stoffler, D., 1971. Coesite and Stishovite in Shocked Crystalline Rocks. *Journal of Geophysical Research* 76, 5474-5488.
- Ummah, K., Sukiyah, E., Rosana, M. F., Alam, B. Y. C. S. S., 2018. Remote Sensing Identification of Possible Meteorite Impact Crater on Ciletuh, West Java. *International Conference on Earth Sciences and Engineering (ICESEG)*, 1-8.

