

PENENTUAN UMUR FOSIL MANUSIA PURBA DI JAWA
BERDASARKAN MAGNETOSTRATIGRAFI
*DETERMINATION OF THE AGE OF THE ANCIENT HOMINID FOSSILS IN JAVA
BASED ON MAGNETOSTRATIGRAPHY*

Oleh :

Budi Setyanta, Harry Parulian Siagian dan Hendro Wahyono

Pusat Survei Geologi
Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122

Abstrak

Studi magnetostratigrafi telah dilakukan di daerah Sangiran, Trinil, Kedungbrubus, Mojokerto dan Patiayam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fosil manusia purba di Sangiran berada antara batas bawah subkron Jaramillo sampai batas krono Brunhes/Matuyama atau berumur 0.78 – 1.070 juta tahun yang lalu (jtl). Di Mojokerto fosil manusia purba pada batas bawah subkron Jaramillo atau berumur 1.070 jtl, di Trinil pada batas atas Jaramillo atau 0.990 jtl. dan di Patiayam pada posisi di Brunches atau berumur lebih muda dari 0.78 jtl. Manusia purba tertua di Jawa dijumpai di Sangiran dan yang termuda dijumpai di Patiayam, sedangkan di Kedungbrubus tidak jelas lokasi penemuannya.

Kata kunci : Fosil manusia purba, magnetostratigrafi, Sangiran

Abstract

Magnetostratigraphic studies, had been carried out in Sangiran, Trinil, Kedungbrubus, Mojokerto and Patiayam. The Study resulting that Hominid fossil found in Sangiran lies between the lower boundary of Jaramillo subchrone and Brunches/Matuyama chrone boundary. Thus the age of the Hominid is in a range of 0.78-1.070 M.a. Hominid fossil from Mojokerto was found at the lower boundary of Jaramillo subchrone or has an age of 1.070 M.a. Fossil of Pre-history man from Trinil is at the upper boundary of the Jaramillo or 0.990 M.a., whereas that from Kedungbrubus could not be dated as the site is not known. Homonid fossil from Patiayam lies in the Brunches chron or younger than 0.78 Ma.

Keyword : Hominid Fossil, Magnetostratigraphy, Sangiran

Pendahuluan

Magnetostratigrafi merupakan ilmu yang mempelajari fosil kemagnetan yang terekam dalam batuan. Urutan polaritas dari fosil kemagnetan secara global dalam suatu susunan urutan batuan (stratigrafi) dapat mengidentifikasi umur perubahan medan magnet bumi. Urutan perubahan polaritas normal dan membalik yang disertai dengan umur mutlak batuan menghasilkan Skala Waktu Polaritas Kemagnetan (SWPK). Dengan menggunakan SWPK, korelasi magnetostratigrafi dapat dipakai untuk menentukan umur fosil maupun batuanya.

Fosil manusia purba di Indonesia banyak ditemukan di Jawa. Penelitian secara ilmiah dimulai oleh Eugene Dubois di gua – gua Sumatera barat tetapi hasilnya kurang memuaskan (Duyfjes, 1936). Maka pada tahun 1889 penelitian berpindah ke Jawa dan

ditemukan tengkorak manusia di Wajak, Tulungagung, Kediri, Kedungbrubus dan Trinil. Fosil tersebut disimpan di Leiden Belanda (Poesponegoro dan Notosusanto, 1984). Penemuan dan penyelidikan yang lain di antaranya dilakukan oleh von Koenigwald (1940) dan Duyfjes (1936). Pada masa ini para ahli paleontologi kita telah banyak menyumbangkan pemikiran dalam usaha memahami manusia purba. Kemudian Sartono (1961) membuat catatan mengenai penemuan fosil *Hominid* di Jawa dengan membuat korelasi secara stratigrafis daerah-daerah di mana ditemukan fosil Hominid (Tabel 1). Dengan majunya teknologi, penelitian interdisipliner mulai dilakukan, sehingga penentuan umur manusia purba dan aspek kehidupannya dapat diungkapkan.

Studi geofisika dengan metoda magnetostratigrafi dapat dipakai untuk mengkorelasikan umur fosil manusia purba yang terawetkan di suatu lapisan batuan di bumi sekalipun mempunyai jarak yang jauh, berbeda pulau bahkan berbeda benua.

Tabel 1 : Korelasi stratigrafi lokasi penemuan fosil Hominid di Jawa (Sartono, 1961)

| AGE | STRATIGRAPHIC SUB-DIVISION (after Duyfjes, 1936) | | SANGIRAN AREA | | TRINIL AREA | | KEDUNGBRUBUS AREA | | KEDUNGBARU AREA | |
|----------------------|--|-------|--|--|--|--------------------------------|---|---------------------------|--|--------------------------|
| | | | STRATIGRAPHY | VERTEBRATE FAUNA | STRATIGRAPHY | VERTEBRATE FAUNA | STRATIGRAPHY | VERTEBRATE FAUNA | STRATIGRAPHY | VERTEBRATE FAUNA |
| ? Middle Pleistocene | Notopuro | | Upper Conglomerate and tuff layer | Trinil | — | — | Tuff and breccias (Notopuro layers) | — | Tuff and breccias (Jombang layers) | — |
| Middle Pleistocene | Kabuh | | Lower Conglomerate, tuffs and sandstones with a fluvial facies | Trinil Hominid skull II Hominid skull III | Conglomerates, tuffs and sandstones with a fluvial facies | Trinil Pithecanthropus skull I | Conglomerates, tuffs and sandstones with a fluvial facies | Trinil Hominid mandible A | Conglomerates, tuffs and sandstones with marine intercalations | Trinil |
| Early Pleistocene | Pucangan | | Black fresh water claystones with marine intercalations. Lower volcanic breccias. | Jetis Hominid skull IV Hominid mandible B Hominid mandible C | Lahar-breccia | — | Volcanic breccias and tuffs | Jetis | Tuffs, sandstones and conglomerates with marine intercalations. Marine claystones | Jetis Homo Mojokertensis |
| Pliocene | Kalibeng | Upper | Corbicula layers, Balanus limestone, Turritella layers, bluish grey claystone | — | Transition layer, coral and foraminiferal limestones with intercalations of marls rich on molluscas (Sonde fauna). | — | Ngronan horizon Belanus limestone, coral limestone | — | Sandstone with glauconite marls cont. diatomae (litoral facies) | — |
| | | Lower | Marl with Globigerina | — | Marl with Globigerina | — | Marl with Globigerina | — | Marl with Globigerina | — |

Pada tulisan ini fosil manusia purba yang akan dibahas terbatas pada daerah yang sudah diteliti di Jawa (Gambar 1), sedangkan sumberdata diambil dari penelitian yang dilakukan oleh tim magnet purba Puslitbang Geologi dan beberapa tulisan terdahulu seperti Mubroto dr, (1993 dan 1995), Hyudo dr (1993); Hussain dr. (1997) dan Sunardi & Koesoemadinata, (1997).

Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan paper magnetostatigrafi ini adalah merangkum hasil penelitian magnetostatigrafi di Jawa oleh para ahli terdahulu. Sedangkan tujuannya adalah untuk mengkorelasikan umur maupun lingkungan pengendapan fosil hominid hasil analisa masing-masing tempat sehingga dapat diketahui apakah saling berhubungan atau tidak. Dengan demikian penentuan umur berdasarkan magnetostatigrafi ini dapat membantu korelasi stratigrafi.

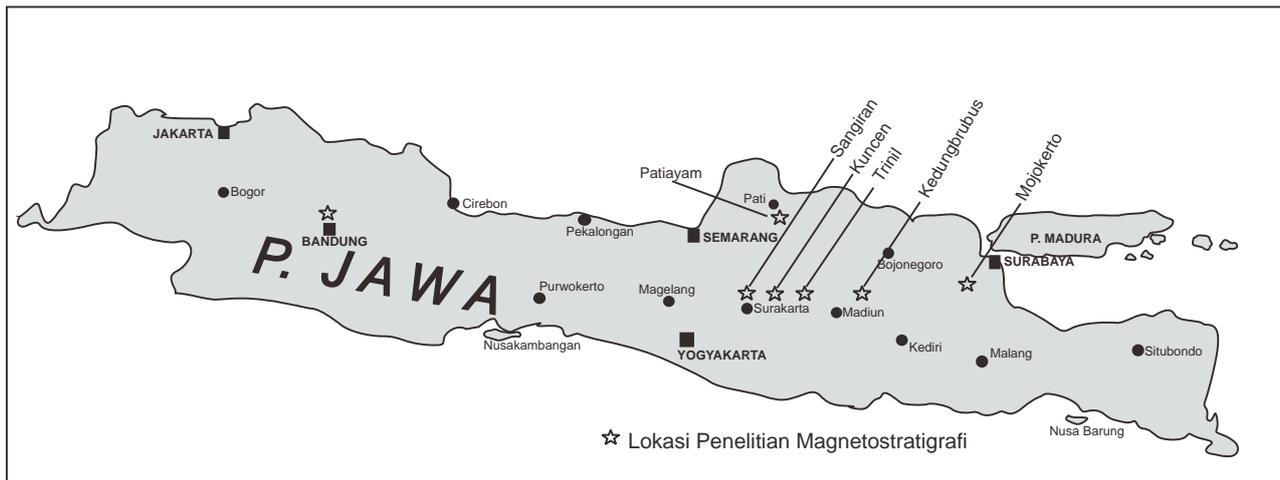
Magnetostatigrafi

Pengertian

Magnetostatigrafi, yang sering juga disebut magnetik stratigrafi merupakan bagian dari paleomagnetik, juga bagian dari geofisika apabila ditinjau dari metode penelitiannya, tetapi juga merupakan cabang dari ilmu stratigrafi bila dilihat

objek penelitiannya. Pada prinsipnya, magnetostatigrafi mempelajari pola polaritas kemagnetan normal dan membalik yang terekam dalam suatu urutan batuan. Opdyke (1996) mendefinisikan magnetostatigrafi sebagai *The element of stratigraphy that deals with the magnetic characteristic of rock unit*. Sementara itu, paleomagnetik merupakan studi magnetisasi *remanent* alamiah atau *Natural Remanent Magnetisation* (NRM) dari batuan, sehingga dapat menginformasikan medan magnet bumi pada skala waktu geologi (Sharma, 1986). Sifat kemagnetan dalam batuan walaupun sangat lemah masih dapat diukur, hingga sangatlah memungkinkan studi paleomagnetik dalam batuan dilakukan. Kemagnetan tersebut disebabkan oleh adanya oksida-besi sebagai mineral tambahan dalam batuan yang membentuk vektor yang menggambarkan besarnya momen magnetik molekuler terinduksi dalam suatu batuan atau dibangkitkan oleh suatu medan magnet luar dan disebut sebagai kemagnetan terfosilkan atau NRM (McElhinny, 1973).

Mekanisme terbentuknya NRM dalam suatu batuan tergantung dari pembentukan batuan sendiri, sejarah yang dialami batuan dan karakteristik dari mineral magnetiknya. Kemagnetan yang terekam pada batuan beku yang terjadi pada saat pendinginan melewati suhu curie disebut *Thermo Remanent Magnetisation* (TRM). Kemagnetan yang diperoleh karena aktivitas kimia pada temperatur



Gambar 1 : Peta Lokasi Magnetostratigrafi di P. Jawa

rendah membentuk oksidasi besi *Chemical Remanent Magnetisation* (CRM). Sedangkan penjarangan deposisi atau dendritik dari portikel magnetik pada saat sedimentasi disebut *Dendritik Remanent Magnetisation* (DRM).

Komponen NRM yang terekam dari batuan pada umumnya terdiri dari 2 komponen. Komponen yang terbentuk pada waktu bersamaan dengan pembentukan batuan disebut komponen primer. Sementara itu, komponen yang diperoleh berikutnya disebut komponen sekunder dan dibentuk karena pelapukan, saat pengambilan contoh atau pengukuran di laboratorium. Untuk pembuatan magnetostratigrafi digunakan komponen primer.

Medan Magnet Bumi

Bumi ini merupakan benda magnet yang dianggap mempunyai sifat dipole dengan sumbu magnet menyudut 11.5° dengan sumbu poros bumi. Sumbu dipole di belahan utara disebut Kutub Geomagnet Utara menembus permukaan bumi pada 78.5° U, 78° B dan belahan selatan disebut Kutub Geomagnet Selatan pada 78.5° S, 110° T. Medan magnet bumi yang berada di kutub utara mengarah ke pusat bumi sedangkan di kutub selatan mengarah keluar. Medan magnet secara umum terdiri dari 3 elemen utama yaitu Intensitas total (F), Deklinasi (D) dan Inklinasi (I).

Penelitian arah medan magnet bumi telah membuktikan bahwa medan magnet bumi berubah terhadap waktu. Perubahan posisi kutub magnet bumi yang terjadi dalam waktu puluhan atau ratusan tahun disebut sebagai variasi sekunder. Perubahan medan magnet bumi yang sangat penting dalam

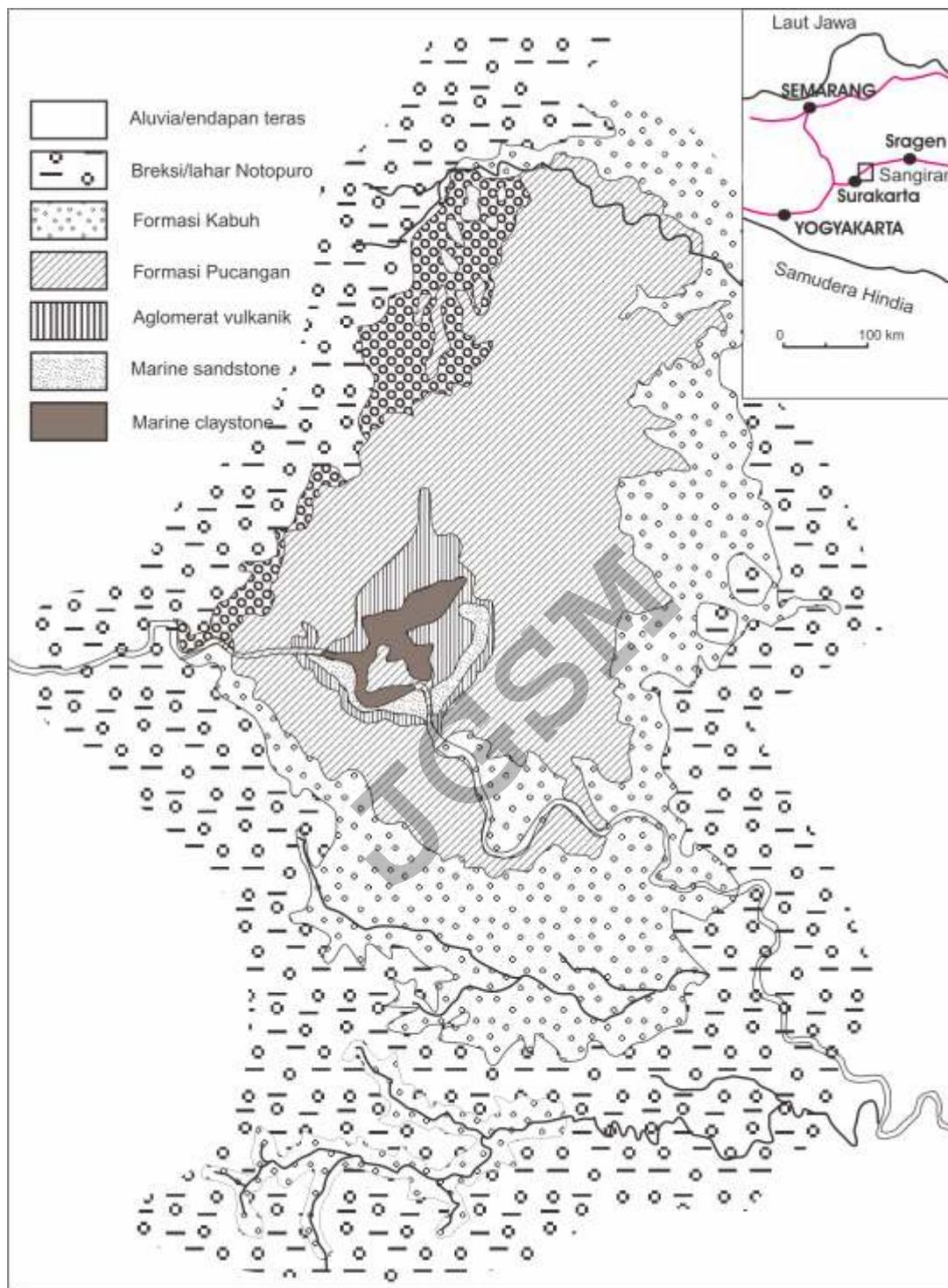
magnetostratigrafi adalah arah medan magnet membalik (*reverse*) berlawanan sebesar 180° dengan arah medan magnet sekarang (normal). Keduanya dikenal dengan polaritas normal dan polaritas membalik.

Skala Waktu Polaritas Kemagnetan (SWPK)

Pola perubahan polaritas normal dan membalik dalam urutan stratigrafi telah lama diketahui yaitu pada tahun 1906 oleh Brunches, tetapi umur dari pembalikan baru diketahui pada tahun 1926 oleh Marcaton dan kemudian Matuyama pada 1929 (Izett & Obradovich, 1994). Dengan telah tersusunnya urutan pola polaritas normal dan membalik dan telah dilengkapi dengan umur mutlak dari masing masing polaritas maka dapat disusun SWPK. Cox (1969) mulai membuat SWPK dan dipakai sampai sekarang walaupun ada perubahan umur dari batas polarisasi (Mankinen dan Dalrymple, 1979) karena adanya perubahan konstanta dalam cara penentuan umur Potasium-Argon. SWPK telah dibuat mulai Paleozoikum sampai Kuartar (Harlan, et al, 1982), tetapi umumnya yang sering dipakai adalah dibawah 4 juta tahun (Gambar 2), karena untuk umur yang lebih tua kekurangan data. SWPK yang baru dibuat oleh Cande dan Kent (1995).

Klasifikasi dan Penamaan

Persatuan Internasional Ilmu Geologi (PIIG) subkomisi dari klasifikasi stratigrafi dan Himpunan Internasional Geomagnetik dan Aeronomi subkomisi SWPK, mempublikasikan bab tambahan satuan polaritas magnetostratigrafi yang merupakan panduan klasifikasi stratigrafi internasional.



Gambar 2 : Peta geologi sederhana daerah Sangiran dan sekitarnya (modifikasi dari Sartono, 1961 dan Watanabe & Kadar, 1985,) dan lokasi penemuan fosil manusia purba.

Definisi Satuan Magnetostratigrafi (*magnetozona*) adalah : *Bodies of rock strata unified by similar magnetic characteristic which allow them to be differentiated from adjacent strata*. Satuan batuan yang ditetapkan sebagai dasar dari polaritas kemagnetan adalah satuan polaritas magnetostratigrafi yang didefinisikan sebagai *Bodies of rock strata, in original sequence, unified by their magnetic polarity which allows them to be differentiated from adjacent strata*.

Satuan polaritas magnetostratigrafi dibagi menjadi polaritas superzona (1.000.000 – 10.000.000 tahun), polaritas zona (100.000 – 1.000.000 tahun) dan polaritas subzona (10.000 – 100.000 tahun). Dasar satuan polaritas untuk suatu urutan stratigrafi adalah polaritas zona terdiri dari satu arah polaritas atau selang seling normal dan membalik; atau dominan normal atau membalik dengan minor polaritas kebalikan dari yang dominan. Polaritas tersebut setara dengan *chrone* pada geokronologi. Polaritas superzona setara dengan *superchrone* untuk geokronologi terdiri dari dua atau lebih zona polaritas. Polaritas subzona adalah bagian dari polaritas zona setara dengan *subchrone* pada geokronologi.

Penamaan polaritas zona di bawah 5 juta tahun diambil dari nama peneliti magnetostratigrafi terdahulu dan nama subzona adalah nama tempat dimana pertama kali dilakukan penelitian tersebut. Nama Brunhes, Matuyama, Gauss dan Gilbert digunakan untuk nama polaritas zona atau polaritas *chron*. Sebelumnya selalu digunakan istilah *epoch*, demikian juga untuk subzona atau *subchron* dikenal nama Jaramillo, Gilsa dan Olduvai yang sebelumnya disebut *Event*.

Penggunaan Magnetostratigrafi

Fungsi yang paling utama dari Magnetostratigrafi adalah untuk korelasi batuan yang tidak mengandung fosil sehingga sulit dikorelasikan.

Berdasarkan pola polaritas kemagnetan normal dan membalik pada suatu urutan batuan maka dapat dibuat magnetostratigrafi. Dengan membandingkan SWPK standar maka lapisan batuan dalam urutan stratigrafi dapat ditentukan umurnya.

Dengan membuat korelasi beberapa magnetostratigrafi suatu daerah atau bor maka kecepatan sedimentasi dari masing masing satuan batuan dapat diketahui.

Metodologi Pengambilan Contoh

Contoh batuan yang diambil dari beberapa lokasi diartikan sebagai suatu volume material yang mempunyai kesamaan waktu terjadinya magnetisasi, misalnya pada batuan sedimen yang posisi stratigrafinya sama (Tarling, 1983). Sementara itu, pengertian contoh terorientasi adalah potongan tunggal dari material yang telah diorientasi kedudukannya *in situ* di lapangan. Specimen adalah potongan dari contoh dapat berbentuk silinder maupun kubus dengan ukuran tertentu tergantung dari alat yang akan digunakan.

Orientasi secara sederhana adalah pemberian tanda pada contoh batuan untuk mencatat kedudukan sebenarnya di lapangan. Arah utara dan bidang horisontal digambarkan pada permukaan contoh dipakai sebagai pedoman yang tetap. Untuk memperoleh magnetostratigrafi yang baik maka posisi pengambilan contoh batuan sebaiknya dilakukan berdasarkan stratigrafi terukur (*measuring section*).

Pengambilan contoh batuan

Pengambilan contoh batuan untuk batuan yang lunak menggunakan alat sederhana berupa pisau dan tatah yang tidak magnetis. Bentuknya biasanya berupa kubus berukuran 15x15x15 cm atau tergantung kebutuhan. Bagian atas dibuat horisontal dan diberi orientasi yaitu arah panah yang menunjuk ke utara. Untuk batuan yang keras juga menggunakan alat sederhana yaitu berupa palu dan pahat. Batuan yang akan diambil dipukul sehingga ada segumpal contoh yang siap diambil tapi masih pada posisi semula. Sebelum diambil perlu dibuat orientasi. Ada beberapa cara untuk orientasi :

1. Menggunakan tripod. Tripod pada posisi horisontal, kemudian letak ketiga kakinya ditandai dan dua kaki dihubungkan (*digaris*) dan diukur arahnya.
2. Membuat garis lurus dan horisontal pada salah satu sisi miringnya dan diukur arah garis tersebut dan bidang miringnya.
3. Membuat tiga garis horisontal pada sisi – sisinya dan garis arah utara pada bagian permukaan.

Contoh batuan berbentuk inti dengan garis tengah 2.4 cm dapat diperoleh dengan memakai bor *portable*. Sebelum diambil harus diorientasi dengan suatu alat yang menyatu dengan kompas matahari.

Proses Laboratorium

Di Laboratorium inti bor dipotong menjadi beberapa specimen dengan ukuran panjang 2.4 cm, demikian juga contoh berbentuk kubus dengan ukuran 2.4x2.4x2.4 cm dan yang sangat lunak dimasukkan dalam kubus akrilik. Ukuran specimen sangat tergantung dengan jenis dari alat yang digunakan. Pengukuran kemagnetan dilakukan dengan menggunakan alat antara lain *spinner* magnetometer, digito magnetometer dan *cryogenik*. Besaran yang akan diperoleh adalah deklinasi, inklinasi dan intensitas. Untuk mendapatkan kemagnetan primer, specimen didemagnetisasi dengan memberi medan magnet bolak balik atau termal secara bertahap. Arah kemagnetan selama proses demagnetisasi biasanya mengalami perubahan. Untuk memudahkan analisis dan penafsiran maka setiap perubahan akan dicatat dan ditampilkan dalam berbagai bentuk tampilan visual sehingga akan mudah diamati. Tampilan tersebut berupa plot stereonet untuk perubahan arah kemagnetan, sedangkan penurunan intensitas digambar sebagai grafik plot peluruhan. Selain itu juga setiap perubahan diplot pada diagram Zijderveld yang dapat menggambarkan perubahan deklinasi, inklinasi dan intensitas. Dengan melihat gambar ini dapat menentukan polarisasi kemagnetan.

Penelitian Magnetostratigrafi Di Jawa

Di beberapa lokasi penemuan fosil manusia purba (Gambar 1), telah diteliti oleh para peneliti terdahulu, baik menyangkut geologi maupun magnetostratigrafinya. Di bawah ini diuraikan hasil penelitian di beberapa lokasi di Jawa yang sudah dipublikasikan secara luas :

Sangiran

Pada th 1936 telah ditemukan fosil Homo mandible di daerah Sangiran oleh Koenigswald. Kemudian sekitar Nopember 1960 ditemukan lagi fosil yang sama di daerah tersebut dalam Formasi Pucangan yang berumur Pleistosen oleh penduduk setempat (Sartono 1961). Berdasarkan catatan, fosil Homo mandible di Jawa telah ditemukan sebanyak tiga kali, pertama oleh Dubois pada tahun 1890 di Kedungbrubus, kemudian yang kedua dan ketiga ditemukan di Sangiran seperti yang telah disebutkan di atas. Sebagai konsekuensinya fosil-fosil tersebut diberi notasi Homo mandible A, B dan C untuk membedakan dalam penyusunannya. Sangiran terletak 15 km di utara kota Solo, Jawa Tengah mempunyai karakteristik struktur berupa

kubah (Gambar 2). Batuan yang paling tua tersingkap di tengah yaitu Formasi Kalibeng, terdiri atas lempung laut berwarna abu – abu kebiruan dan lempung lanauan. Formasi ini ditindih oleh Formasi Pucangan yang dibentuk oleh lempung hitam, kadang-kadang berlapis. Diendapkan pada lingkungan transisi dari laut dangkal ke laguna dan kemudian lakustrin. Formasi di atasnya adalah Formasi Kabuh terutama tersusun atas batulempung, batulanau, batupasir dan lapisan kerikil. Dasar dari Formasi Kabuh adalah Zona Grenzbank (von Koenigswald, 1940, dimodifikasi oleh Sartono 1961) berupa lapisan kerikil pasiran dengan sisipan batupasir dan kerakal. Di atas Formasi Kabuh diendapkan breksi dan lahar Formasi Notopuro. Fosil manusia dan mamalia pada umumnya ditemukan pada Formasi Kabuh dan Formasi Pucangan tersebut (Watanabe & Kadar, 1985, Gambar 2).

Penelitian magnetostratigrafi di Sangiran dilakukan oleh Puslitbang Geologi dan JICA pada tahun 1986 sampai 1988 dan memperoleh total specimen 654 dari 106 horison yang terdiri dari lempung halus, tuf dan lempung lanauan. Seluruh contoh telah diukur dengan *Spinner* magnetometer dan didemagnetisasi arus bolak-balik (AF).

Hasil penelitian cukup memuaskan dan telah dipublikasikan dalam jurnal-jurnal antara lain *Journal of Geophysical Research* (1992), *Antropol. Sciences* (1993) dll. SWPK yang digunakan pada penelitian daerah Sangiran menggunakan metoda Mankinen dan Dalrymple (1979). Pada Formasi Kabuh tepatnya dibawah tufa atas ditemukan perubahan polaritas kemungkinan merupakan batas dari Brunhes dan Matuyama chron pada umur 0.73 juta tahun yang lalu (Hyudo, et al, 1993). Jaramillo subchron yang berumur 0.90 – 0.97 (jtl) ditemukan antara zona Grenzbank dan lapisan tufa T11. Polaritas zona normal dan menengah berada di Gamping Balanus pada Formasi Kalibeng diperkirakan Olduvai subchron yang berumur antara 1.67 dan 1.87 (jtl). Urutan polaritas normal dibawah lapisan nodul di Formasi Kalibeng termasuk Gauss normal chron. Batas Gauss dan Matuyama pada 2.48 (jtl) mungkin berada pada lapisan tuf atas dan nodul. Karena subkrono berumur antara 2.92 dan 3.01 jtl mungkin pada zona atas dan Mammoth subchron yang berumur 3.05 dan 3.15 jtl. pada zona bawah.

Posisi fosil Homo berada pada batas bawah dari Jaramillo subchron yaitu pada 0,97 dengan batas Brunhes/ Matuyama chron yaitu pada 0,73 jtl. Pada diskusi dan kesimpulan SWPK digunakan Cande dan Kent (1995) maka sedikit akan berbeda pada umur.

Mojokerto

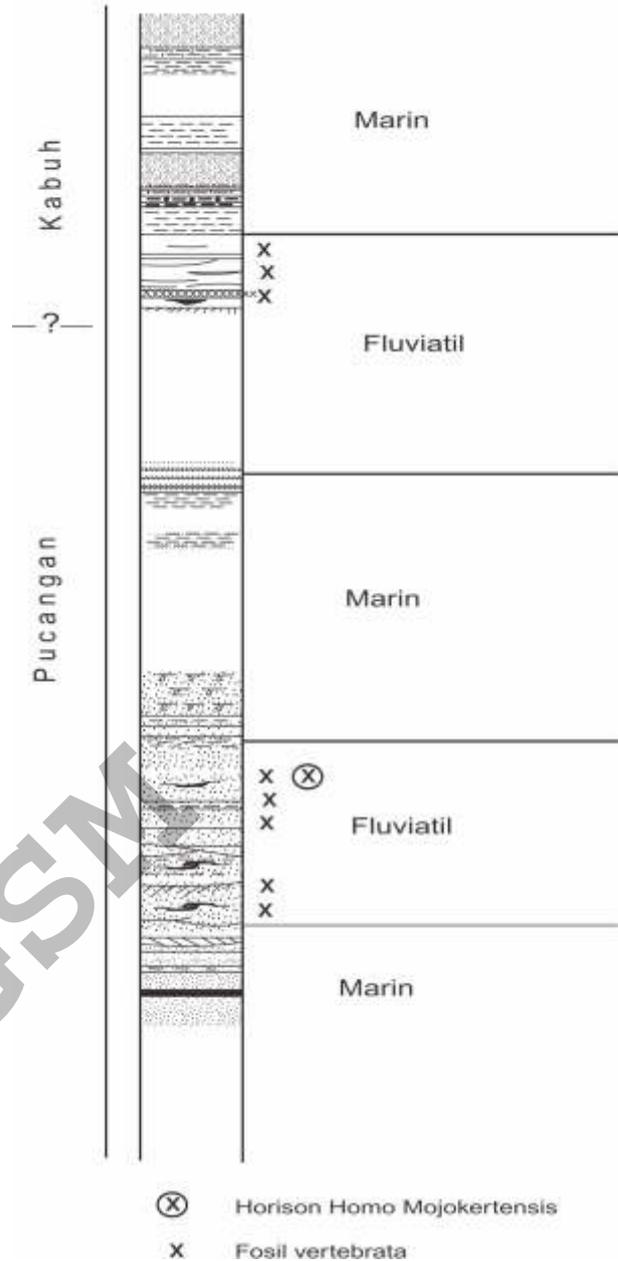
Salah satu lokasi penemuan fosil manusia di Jawa adalah di desa Perning yang terletak 9 km timur laut Mojokerto (Gambar 1). Stratigrafi daerah ini oleh Duyfjes (1936) dibagi menjadi 2 formasi yaitu Formasi Pucangan tua berfasies vulkanik dan Formasi Kabuh. Kedua formasi tersebut sebenarnya susah dipisahkan karena merupakan satu siklus pengendapan (Gambar 3). Formasi Pucangan terdiri dari batulempung dan batupasir tufan dengan sisipan batulempung dan konglomerat terendapkan pada lingkungan laut sampai fluviatil. Bagian atas formasi merupakan fasies vulkanik sedangkan bagian bawah ditempati lempung laut. Fosil tengkorak manusia ditemukan di fasies vulkanik (Koenigswald, 1940, Duyfjes, 1936). Formasi Pucangan ditindih oleh Formasi Kabuh yang terdiri dari batupasir dan batupasir tufan dengan sisipan konglomerat. Formasi ini terendapkan pada kondisi fluviatil.

Penelitian magnetostratigrafi di Mojokerto telah dilakukan oleh Proyek Kerjasama Puslitbang Geologi dan JICA pada tahun 1986 –1988 dan hasilnya telah dipublikasikan bersama dengan daerah Sangiran. Telah dianalisa sejumlah 38 horison dan setiap horison terdiri dari 5 specimen. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa polarisasi membalik dan intermediate mendominasi hampir seluruh horison.

Pada posisi stratigrafi bagian bawah terdapat 2 zona polaritas yaitu pada batupasir dan lapisan kerikil SG1 dan SG2, dan di bagian dasar menunjukkan polaritas intermediate yang mengarah ketimur dan polaritas yang mendekati normal. Diantara kedua zona tersebut terlihat polaritas intermediate yang mengarah ke barat. Keadaan ini seperti pola dari magnetostratigrafi di Sangiran. Oleh karena itu diperkirakan bahwa zona yang atas adalah Jaramillo subchron dan bagian bawah adalah Olduvai subchron.

Batas Brunhes dan Matuyama chron berada pada bagian atas stratigrafi, polaritas normal di bawah lapisan kerikil yang mengandung fosil vertebrata dan moluska merupakan krono Brunhes dan pada lanau tufan dibawah lapisan tipis batupasir dan lapisan kerikil SG4 di Sumbertengah merupakan polaritas membalik dari krono Matuyama.

Homo Mojokertensis berada di fasies vulkanik pada formasi Pucangan. Posisi tersebut (gambar 6) berada di dekat bagian bawah dari Jaramillo subchron oleh karena itu umur fosil manusia tersebut sekitar 0.97 jtyl. (Mankinen dan Dalrymple, 1979).



Gambar 3 : Lingkungan Pengendapan Formasi Pucangan dan Formasi Kabuh (tanpa skala), dimodifikasi dari laporan tahunan P3G 1987/1988 (PPPG, 1991a).

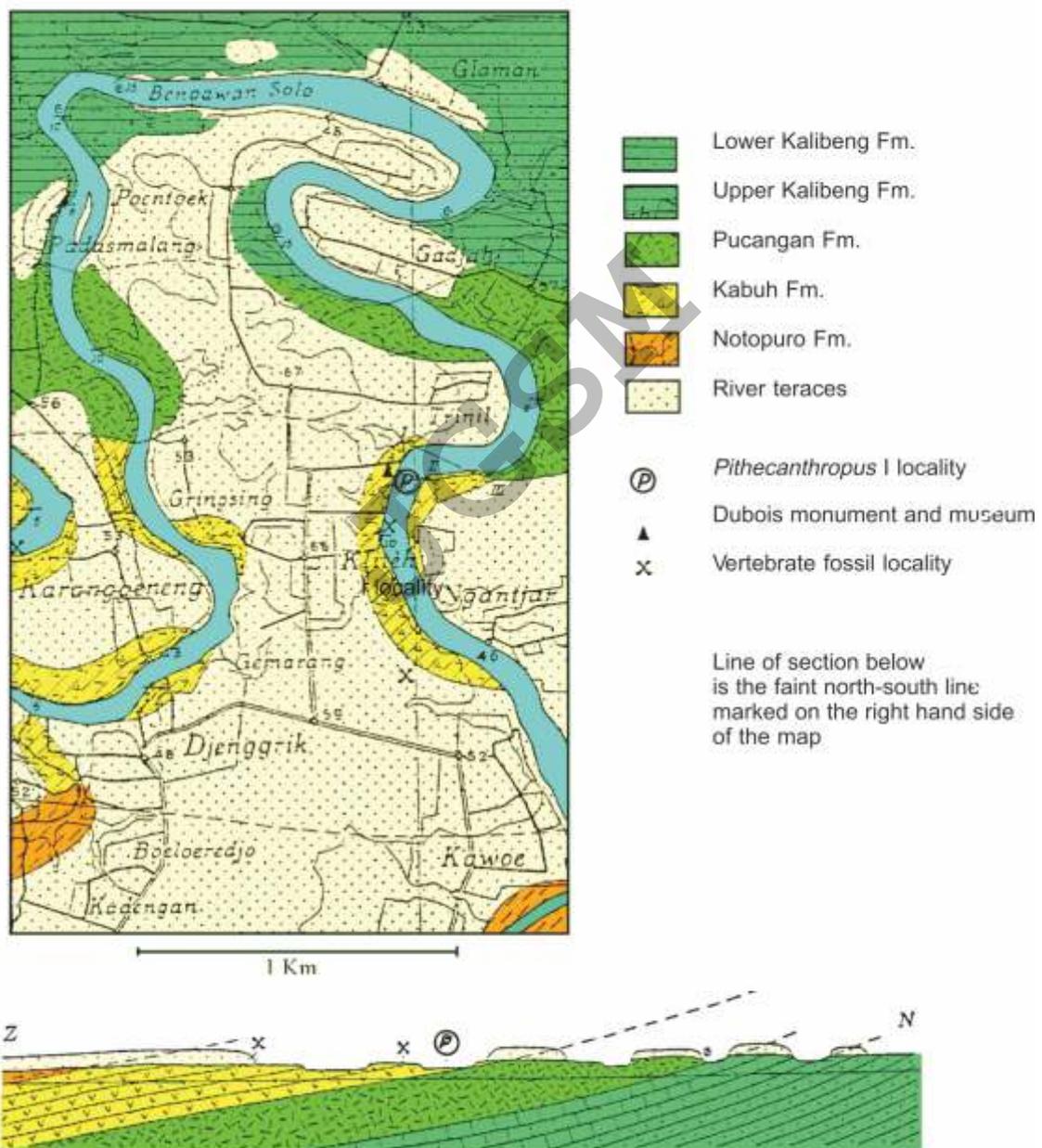
Trinil

Desa Trinil terletak di Kabupaten Ngawi bagian barat (Gambar 1). Daerah tersebut terkenal sejak ditemukannya *Homo erectus* oleh Dubois tahun 1894 pada formasi Kabuh. Menurut Duyfjes, 1936, (dalam Koenigswald, 1940) Gambar 4) daerah tersebut secara stratigrafis dapat dibagi menjadi 3 formasi, formasi paling tua adalah Formasi Kalibeng yang terdiri atas batulempung berfasies laut dalam berumur Pliosen Atas, serta batulanau dan

batugamping yang mencirikan laut dangkal berumur Pliosen. Formasi Pucangan selaras menindih Formasi Kalibeng dan terdiri dari breksi vulkanik dengan sisipan batulempung dan batulanau. Formasi Kabuh menindih selaras Formasi Pucangan, terdiri dari batupasir dan batulanau dengan sisipan perlapisan kerikilan. Fosil manusia purba ditemukan pada lapisan kerikil di dalam formasi ini. Formasi Notopuro terdiri dari batupasir dan kerikil mengandung bola batuapung cukup banyak.

Penelitian magnetostratigrafi di daerah ini dilakukan

oleh Tim Geofisika Puslitbang Geologi pada tahun 1988. Pengambilan contoh dilakukan sepanjang tebing sungai Bengawan Solo. Contoh yang diambil berupa batulempung dan batulempung tufan, batulempung lanauan dan batulempung gampingan. Jumlah horison pada magnetostratigrafi tersebut berjumlah 11 horison. Pada horison ke 1 sampai ke 3 menunjukkan polaritas membalik dan menengah, 2 horison dibawahnya polaritas normal, horison ke 6,7,8 adalah polaritas membalik dan ketiga horison dibawah adalah normal dan beberapa spicemen intermediate.



Gambar 4 : Lokasi penemuan fosil manusia purba pada Peta Geologi Daerah Trinil dan sekitarnya (Duyfjes, 1935, dalam Von Koeningswald, 1940).

Kedua zona dari polaritas normal tersebut diperkirakan Jaramillo subchron/event dan Olduvai subchron/event (Gambar 5).

Posisi stratigrafi dari batuan yang mengandung fosil manusia terletak pada zona polaritas membalik di bagian atas, oleh karena itu fosil tersebut berada di zona Matuyama antara batas atas Jaramillo subchron dan batas Brunhes dan Matuyama chron (0.90 - 073 jtl) (Mankinen dan Dalrymple, 1979), tetapi lebih dekat dengan Jaramillo subchron.

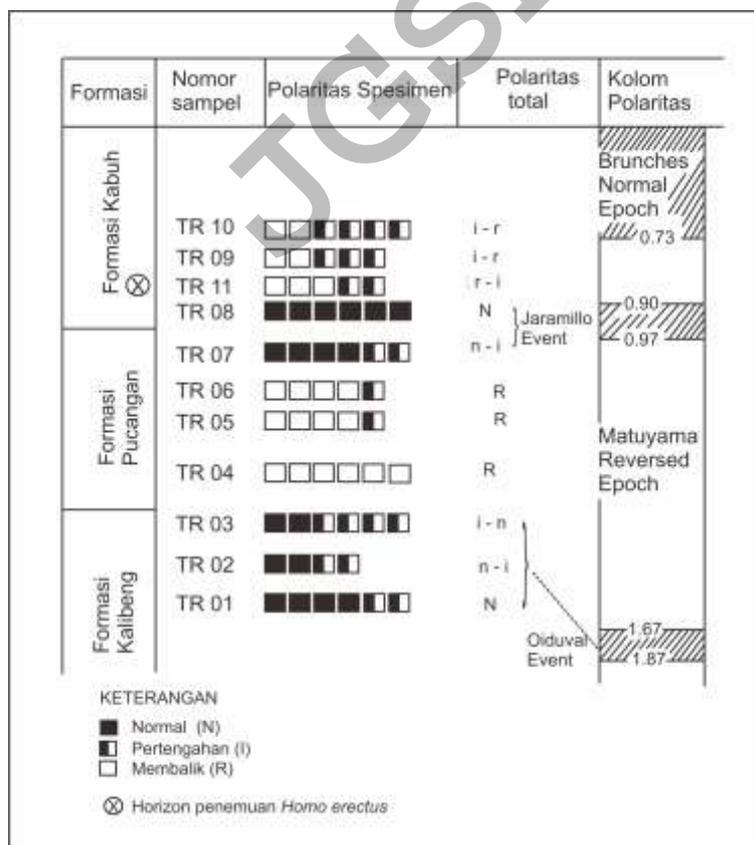
Kedungbrubus

Daerah Kedungbrubus terletak sekitar 30 Km timurlaut kota Madiun pada sisi selatan zona Kendeng (Gambar 1 dan Gambar 6). Daerah ini merupakan salah satu lokasi temuan fosil vertebrata yang penting di P. Jawa. Para peneliti Belanda telah lama tertarik akan daerah ini, di antaranya adalah Dubois (1890, dalam Sartono, 1961 dan Koenigswald,1940), Duyfjes (1936, dalam Koenigswald,1940) dan von Koenigswald (1940) yang banyak mempelajari paleontologinya. Von

Koenigswald (1940) melaporkan adanya penemuan rahang Hominid di Kedungbrubus oleh Dubois pada tahun 1890, tetapi lokasi temuannya tidak diketahui dengan pasti.

Stratigrafi daerah Kedungbrubus tersusun oleh beberapa formasi dari tua ke muda : Formasi Kalibeng, Formasi Pucangan, Formasi Kabuh dan Formasi Notopuro. Secara morfologi daerah ini membentuk perbukitan homoklin yang miring ke baratdaya.

Mubroto, drr. (1995) melakukan penelitian paleomagnetik daerah tersebut. Jumlah contoh yang diambil sebanyak 156 inti dan 8 blok contoh dari 21 horison. Contoh tersebut diambil sepanjang Sungai Ngetos dan Sungai Notopuro. Hasil penelitiannya disajikan dalam bentuk magnetostratigrafi. Pada posisi paling atas yang ditempati Formasi Notopuro terlihat polaritas membalik sedangkan di bawahnya sampai pada Formasi Kabuh bagian bawah terlihat polaritas normal. Pada Formasi Kabuh bagian bawah dan Formasi Pucangan terlihat ada 3 zona polaritas membalik, tetapi hanya 1 horison setiap zona.



Gambar 5 : Magnetostratigrafi Spesimen Daerah Trinil dan Sekitarnya (Puslitbang Geologi, 1991b)

Magnetostratigrafi daerah Kedungbrubus pada Formasi Notopuro sampai Formasi Kabuh bagian bawah adalah Brunhes chron, batas Brunhes dan Matuyama chron terletak pada Formasi Kabuh Bagian bawah. Subchron pada Matuyama chron diragukan karena data belum lengkap atau kurang rapat dalam pengambilan contoh batuan. Kemungkinan polaritas normal paling bawah menempati Jaramillo subchron.

Sungai Kuncen

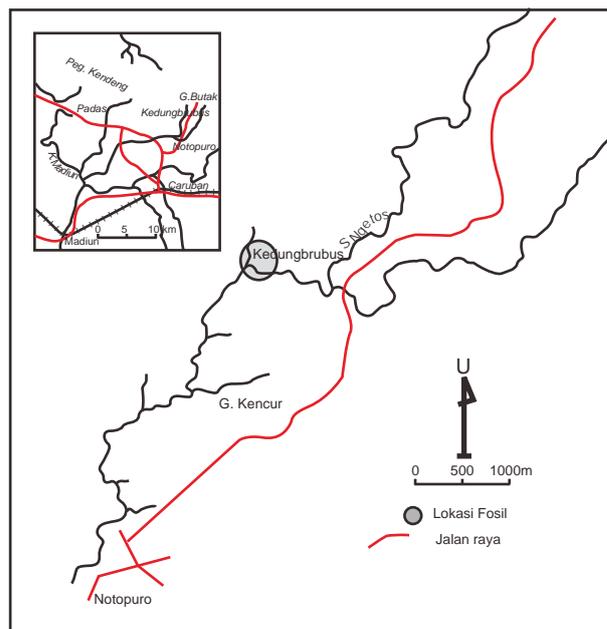
Sungai Kuncen yang mengalir ke arah utara merupakan cabang dari Bengawan Solo yang berlokasi di daerah Sidolayu, Jawa Timur (Gambar 1). Di daerah tersebut tersingkap dengan baik batuan sedimen yang berumur Pleistosen. Secara stratigrafi lima satuan litostratigrafi dari bawah ke atas (Sudijono, 1991) adalah : Satuan Ku1 dapat dikorelasikan dengan Formasi Sangiran (Formasi Pucangan) dan ditindih tak selaras oleh satuan Ku2 yang dapat dikorelasikan dengan Formasi Bapang (Formasi Kabuh) dan Formasi Pohjajar (Formasi Notopuro). Satuan Ku3 dapat dikorelasikan dengan Formasi Setri, sedangkan satuan Ku4 masih belum dapat dikorelasikan.

Magnetostratigrafi Sungai Kuncen hanya ditentukan dengan 10 horison oleh Mubroto dan Wahyono (1993), dengan ketebalan lebih kurang 45 m dan menunjukkan bahwa Brunhes chron terletak pada Formasi Setri, Formasi Pahjajar, Formasi Bapang, selanjutnya batas Brunhes dan Matuyama chron menempati Formasi Sangiran bagian Atas (Gambar 6).

Patiyam

Patiyam adalah daerah yang berbentuk kubah di sebelah tenggara Gunung Muria. Daerah ini telah dikenal lama oleh para ahli paleontologi, karena banyak ditemukan fragmen tulang dan gigi fosil vertebrata, fosil manusia purba berupa gigi geraham dan pecahan tengkorak (Sahat, dr., 1996 dan Sartono 1978).

Berdasarkan peta Geologi Lembar Kudus (Suwarti dan Wikarno, 1992) litologi daerah Patiyam dan sekitarnya tersusun dari Formasi Patiyam dan tuf Muria yang menindih tidak selaras formasi di bawahnya. Sartono (1978) membagi secara terinci dari tua ke muda, Formasi Jambe, Formasi Kancilan, Formasi Slumprit dan Formasi Sokobubuk. Fosil-fosil vertebrata dan manusia purba terdapat pada satuan batupasir tufan - tuf pada Formasi Slumprit (Sahat,



Gambar 6. Peta Lokasi Penemuan Fosil Manusia Purba di Daerah Kedungbrubus

dr., 1996)

Hasil magnetostratigrafi oleh Hussain, dr. (1997) menunjukkan bahwa bagian atas yang ditempati Formasi Slumprit dan bagian bawah Formasi Kancilan menunjukkan polaritas normal dari 21 horison, dan hanya satu yang menunjukkan polaritas membalik yaitu pada bagian bawah Formasi Kancilan. Dengan menganalisis urutan polaritas tersebut, maka dapat diperkirakan bahwa batas Brunhes dan Matuyama chron yang mempunyai umur 0.73 jtl (Mankinen dan Dalrymple 1979) terdapat pada Formasi Kancilan bagian bawah. Jadi fosil yang terdapat di dalam Formasi Slumprit termasuk dalam Brunhes chron (Gambar 7).

Korelasi Magnetostratigrafi

Lokasi penelitian magnetostratigrafi terletak pada Zona Kendeng kecuali daerah Patiyam. Secara stratigrafi Zona Kendeng terdiri dari beberapa formasi dari bawah ke atas; Formasi Kalibeng, Formasi Pucangan, Formasi Kabuh dan Formasi Notopuro.

Hasil penyusunan pola polaritas setiap lokasi digabungkan dan dikorelasikan (Gambar 7). Korelasi magnetostratigrafi menggunakan SWPK dari Cande dan Kent (1995). Hasilnya menunjukkan bahwa

polaritas normal ditemukan pada posisi di atas dan menempati Formasi Kabuh dan Formasi Notopuro pada Zona Kendeng, sedangkan di Patiayam menempati Formasi Kancilan dan Formasi Slumpurit.

Batas Brunhes/Matuyama chron pada umumnya di Formasi Kabuh bagian atas. Di Kedungbrubus batas Brunhes/Matuyama chron tidak jelas karena pada bagian bawah dari Formasi Kabuh ditemukan 1 horisontal polaritas membalik. Pembalikan polaritas tersebut diperkirakan merupakan Emperor subchron yang berumur (0,495 – 0,504 jtl).

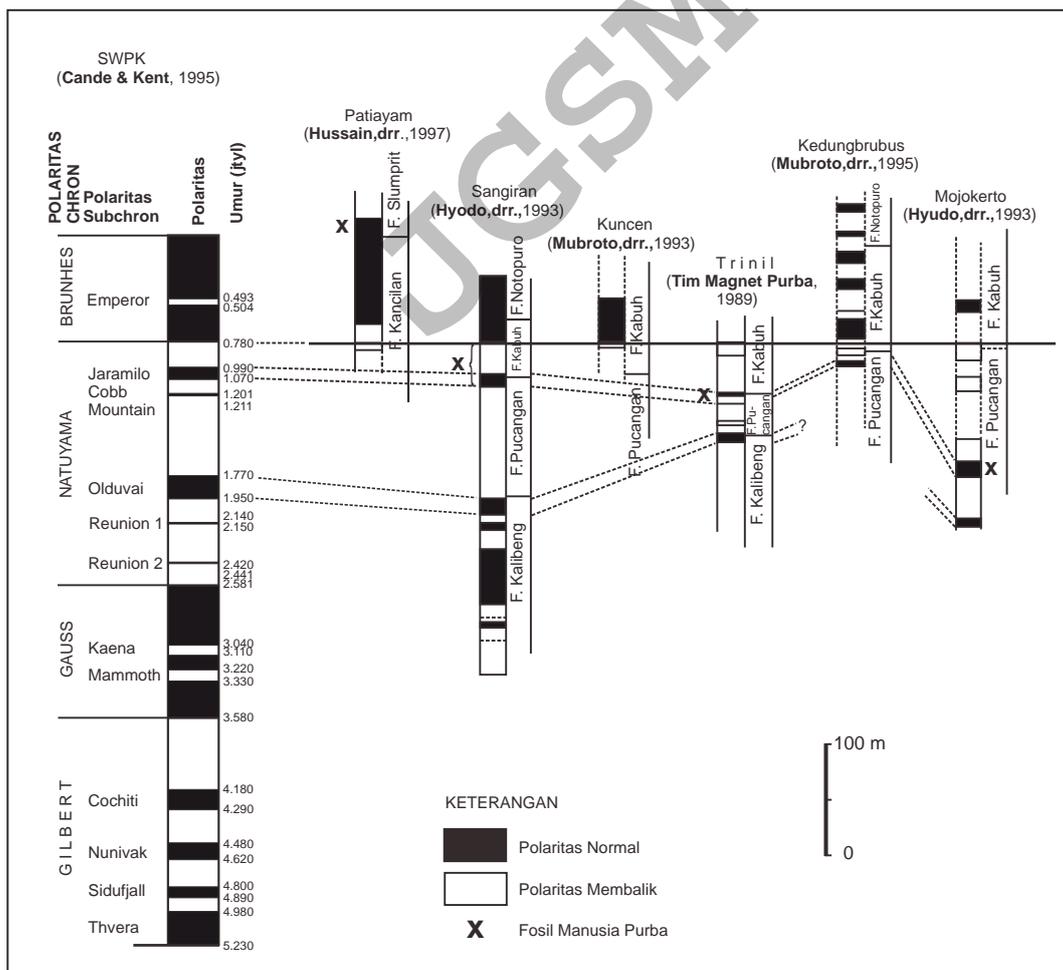
Polaritas membalik Matuyama chron merupakan bagian bawah Formasi Kabuh dan Formasi Pucangan. Polaritas normal pada Matuyama chron merupakan Jaramillo subchron berumur (0.990 – 1.070 jtl). Olduvai subchron berumur 1.770 – 1.950 jtl. dan polaritas normal paling bawah adalah Reunion 1 dan Reunion 2, yakni 2 subzona polaritas normal dari Jaramillo dan Olduvai yang merupakan bagian dari Matuyama chron dan terdapat di lokasi

Sangiran, Trinil, dan Mojokerto.

Polaritas normal Gauss chron serta Kaena dan Mammoth subchron masih dapat terrekam dalam Formasi Kalibeng di daerah Sangiran.

Korelasi magnetostratigrafi dilakukan dari Patiayam, Sangiran, Kancilan, Trinil, Kedungbrubus dan Mojokerto. Sebagai datum adalah batas Brunhes/Matuyama chron (0.78 jtl).

Hasil korelasi menunjukkan bahwa fosil manusia purba dalam Formasi Slumpurit di Patiayam berada di bagian paling atas dari Brunhes chron. Di Sangiran fosil manusia purba berada pada bagian bawah Jaramillo subchron sampai batas Brunhes/Matuyama chron. Horison stratigrafi fosil manusia purba di Trinil terletak pada bagian atas dari Jaramillo subchron, sedangkan di Mojokerto terletak pada batas bawah Jaramillo (0,97 jtl). Jadi fosil manusia purba yang paling muda adalah di Patiayam.



Gambar 7 : Korelasi Magnetostratigrafi di Jawa

Selain untuk menentukan umur, magnetostratigrafi juga dapat menentukan variasi kecepatan sedimentasi. Pada waktu antara Jaramillo subchron sampai batas Brunhes/Matuyama chron kecepatan sedimentasi di zona Kendeng bervariasi. Di daerah Mojokerto relatif paling cepat ke arah barat sangat lambat dan di Trinil kecepatan bertambah, tetapi makin ke barat berkurang. Demikian juga pada umur antara Jaramillo subchron dan Olduvai subchron (0.1070 – 1.770 jtl), kecepatan sedimentasi di Sangiran ke arah timur menurun sedangkan pada daerah Trinil sampai Mojokerto berkecepatan sama.

Suminto, dr. (1995) mengkorelasikan hasil pengeboran yang dilakukan oleh P2AT (Proyek Pengembangan Air Tanah) dari Sangiran sampai Kedungbrubus. Hasil korelasi menunjukkan bahwa di daerah Trinil terlihat adanya penebalan dari Formasi Kabuh dan formasi di atasnya. Apabila kita bandingkan dengan korelasi magnetostratigrafi maka hasilnya sangat mirip, yaitu penebalan lapisan batuan atau menunjukkan kecepatan sedimentasi yang cepat pada daerah Trinil. Hal ini disebabkan karena daerah Trinil relatif lebih ke arah hilir daripada daerah Sangiran sehingga sedimentasinya lebih intensif dan denudasinya relatif berkurang.

Kesimpulan

Untuk daerah Jawa, fosil manusia purba dari Patiyam menunjukkan fosil yang paling muda yaitu berumur lebih muda dari 0.78 jtl dan yang tertua adalah fosil manusia purba dari Sangiran yaitu 0,97 jtl.

Kecepatan sedimentasi relatif dari tiap lokasi dapat ditentukan dengan menggunakan korelasi magnetostratigrafi. Apabila dibandingkan dengan metoda litostratigrafi dari hasil pemboran air tanah, maka metoda magnetostratigrafi akan lebih mudah dan praktis.

Ucapan Terimakasih

Dengan selesainya penulisan makalah ini, maka penulis mengucapkan terima-kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Survei Geologi dan juga kepada Dr. Wahyu Sunata dan Dr. B. Mubroto (alm) atas diskusi dan saran-saran di lapangan maupun dalam penyusunan naskah sementara, pada saat kedua beliau masih sehat.

Tabel 2 : Stratigrafi ideal daerah Sangiran dan sekitarnya (modifikasi Sartono, 1961).

| Age | Stratigraphic Subdivision | Stratigraphy | Vertebrate fauna | Invertebrate fauna |
|----------------------|---------------------------|--|--|---|
| ? Middle Pleistocene | Notopuro | Upper Conglomerate and tuff layers. Upper volcanic breccias | Trinil | |
| | Unconformity | | | |
| Middle Pleistocene | K a b u h | Lower conglomerate and tuff layers. | Trinil <i>Hominid</i> skull II and skull III <i>Meganthropus</i> mandible B | Fresh water mollusc. |
| Early Pleistocene | Pucangan | Upper black limnic claystone Bed of marine intercalaton Lower black limnic claystone Lower volcanic breccia | Jetis <i>Hominid</i> skull IV (P.robustus) <i>Hominid</i> mandible B and C <i>Meganthropus</i> mandible A | Diatomae, larger and smaller foraminifera, marine mollusc. Fresh water mlsc. |
| | Unconformity | | | |
| Upper Pleistocene | Upper Kalibeng | <i>Corbicula</i> layer <i>Balamus</i> limestone Marine sandstone and claystone | | Fresh water mollusc <i>Balamus</i> |

Acuan

- Cande, S.C. and Kent, D.V., 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.* 100: 6093-6095.
- Cox, A.V., 1969, *Geomagnetic reversals. Science* 163 (3864): 237-2345.
- Duyfjes, J., 1936. *Zur Geologie und Stratigraphie des Kendenggebietes swishen Trinil und Soerabaja (Java)*. De Ingenieur Ned-indie 4: 136-149.
- Harlan, W.B., Cox, A.V., Llewellyn, P.G., Picton, C.A.G., Smith, A.G., and Walters, R. 1982. *A Geologic Time Scale*. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK.
- Husain, M., Eko, S., Mahfi, H.A., Wahyono, H., Sunata, W. dan Sanyoto, P. 1997. Magnetostratigrafi Daerah Patiayam, Kudus, Jawa Tengah. *Pros. HAGI PIT* ke 22, Bandung.
- Hyudo, M., Watanabe, N., Sunata, W., Susanto, E.E. and Wahyono, H., 1993. Magnetostratigraphy of Hominid Fossil Bearing Formation in Sangiran and Mojokerto, Java. *Antropol. Sci.* 101(02): 157-186.
- Izzett, G.A. and Obradovich, J.D., 1994. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constrains for the Jaramillo Normal Subchron and Matuyama-Brunches geomagnetic boundary. *J. Geophys. Res.*, 99(B2): 2925-2934.
- Kelompok Magnet Purba. Bidang Geofisika. Puslitbang Geologi 1989. Penyelidikan Magnet Purba daerah Trinil Kabupaten Ngawi. Prop. Jawa Timur. LGF 338.
- Koenigswald, G.H.R. von, 1940, Neue Pithecanthropus Funde 1936-1938. Ein betrag zur Kenntnis der Praehominiden. *Wet. Med. Dienst Mijnb. Ned. Indie*, 205p.
- Mankinen, E.A. and Dalrymple 1979. Revised Geomagnetic Polarity Time Scale for The interval 0.5 my B.P. *J. Geophys. Res.* 84(B2): 615-626.
- McElhinny, M.W. 1973. *Palaomagnetism and Plate tectonics*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K.
- Mubroto, B. dan Wahyono, H. 1993. Magnetostratigrafi Sepanjang Sungai Kuncen Lereng Utara Gunung Lawu, Jawa Timur. *Berita Geologi* 274 (XIV): 6-8.
- Mubroto, B., Suminto and Kimura, J. 1995. Paleomagnetic analysis of Sediments of the Kendungbrubus Area in Geology of Quarternary Environment of the Solo-Madiun Area Central-East Jawa Ed: Sudiyono, Mano K, Wikarno R. *Special Publication No 17 Geological Research and Development Centre*: 100-104.
- Opdyke, N.D. and Chaunell, J.E.T. 1996 *Magnetic Stratigraphy. International Geophysics Serie.* 64.
- Poesponegoro, M.D. dan Notosusanto, N. 1984. *Sejarah Nasional Indonesia*. P.N. Balai Pustaka. Jakarta.
- Sahat, L.B., Nana, R., Baskoro, S., Syukur, S., dan Adang, H. 1996, Penyelidikan Konservasi Geologi daerah Patiayam dan sekitarnya, Jawa Tengah, Laporan Intern Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, tidak dipublikasikan.
- Sartono, S., 1961, Notes on a New Find of Homo Mandible, *Publikasi Teknik Seri Paleontologi*, no. 2 th 1961, Jawatan Geologi, Bandung, 51 h.
- Sartono, S. 1978, Sedimentasi daerah Patiayam, Jawa Tengah. *Berita Penelitian Arkeologi*, no 9 Jakarta. Pusat Purbakala dan Peninggalan Nasional.
- Sharma, P.V. 1986. *Geophysical Methods In Geology*, Elsevier, Science, Publishers Co, inc., Amsterdam, The Netherlands.
- Sudijono, 1991. Down Strem Area of Kuncen River. In Quarternary Geology of the Northern Foot area of Mount Lawu and along the Middle Course of Solo river, Central – East Jawa. Progres Report of Ind.-Japan join study on geology of quarternary environment: 31 – 36.
- Suminto, Kimura J and Hirayama T., 1995 *Subsurface Geology in Sangiran, Kedungbrubus and Ponorogo area. In Geology of Quarternary Environment of the Solo-Madiun Area Central-East Jawa*, Ed: Sudiyono, Mano K, Wikarno R. *Special Publication No 17 Geological Research and Development Centre*: 81-86.
- Sunardi, E. dan Koesoemadinata, R.P. 1997. Manetostratigraphy of Volcanic rock in Bandung area. *Proseeding IAGI* ke XXVI.

- Suwarti, T. dan Wikarno, R. 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Tarling, D.H. 1983. *Paleomagnetism*. Chapman & Hall, London.
- Watanabe, N. and Kadar, D. , 1985, Quaternary geology of the hominid fossil bearing formations in Java, Report of the Indonesia-Japan Joint Research Project CTA-41, 1976-1979, *Geol.Res.Dev.Centre, Special Publication*. 4: 1-378.

JGSM