Meander Besar "Brantas", Tanah Vulkanik Kedap Air Membalikkan Aliran Berkekuatan ke Utara.

Kasiyama Lukitasari[1,a)], Lilik Hendrajaya[2,b)]

[1]Pengajaran Fisika,
Sekolah Pascasarjana ITB,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

[2]Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

[a)] yamasari389@gmail.com (corresponding author)
[b)] lilik.hendrajaya@gmail.com

Abstrak

Aliran sungai Brantas berawal dari lereng curam gunung Arjuna Malang Jawa Timur, melewati sisi timur pegunungan Kawi hingga aliran mengalir ke selatan menemui saluran pengumpul sungai-sungai lain yang lebih rendah. Bukit-bukit batuan kristalin (metamorf) dari endapan vulkanik Wilis-Kelud-Kawi dan kapur yang terdapat di tepi selatan provinsi jawa timur menahan aliran sungai ke selatan dalam keadaan debit aliran membesar. Lembah curam antara Wilis-Kelud menjadi arah baru penjelajahan Brantas ke utara untuk mengaliri dataran lembah lebar antara Pegunungan Kapur Utara dan lereng (lebih landai) Kelud-Kawi-Arjuno-Welirang. Brantas membentuk Meander besar berkekuatan besar karena penambahan debit dan pembelokan momentum ketika masih di ketinggian dan tidak menghasilkan erosi dan sedimentasi yang mengganggu kesetimbangan. Delta yang terbentuk menghadap Laut Jawa dan Selat Madura, sejak jaman purba mengendapkan zat organik yang menghasilkan endapan hidrokarbon (migas). Meander Brantas berbeda dengan meander daerah kontinen didataran yang merupakan meander responsif. Mengikuti aliran sepanjang Brantas merupakan pembelajaran fisika mekanika fluida: hidrodinamika dan hidrolika. Pembelajaran fisika sepanjang meander Sungai Brantas mampu membentuk bahan ajar fisika yang bersifat kontekstual bagi peserta didik. Disamping itu kandungan sosial budaya Brantas telah mendukung kemajuan peradaban Jawa Timur dari jaman kerajaan Hindu Kediri, Singosari, Majapahit, Mataram sampai sekarang.

Kata-kata kunci: morfologi pegunungan tektonik, pembalikan aliran sungai, pembelajaran fisika.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Fisika merupakan sebuah cabang ilmu murni yang sering dipersepsikan sebagai ilmu yang abstrak dan sulit bagi sebagian besar pelajar. Padahal, fisika sebagai ilmu sains dasar seyogyanya harus dipahami oleh pelajar dengan baik. Penguasaan ilmu fisika untuk menguatkan konsep fisika sendiri sangat dibutuhkan di era ini. Pembelajaran kontekstual merupakan salah satu cara memudahkan pelajar dalam membangun konsep

fisika. Elaine B.J (2007) menyatakan bahwa pembelajaran kontekstual merupakan sebuah proses pendidikan yang bertujuan untuk membantu pelajar dalam memahami materi di sekolah dengan menghubungkan pengetahuan di sekolah dengan pengetahuan yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari, dengan konteks pribadi, sosial dan keadaan budaya mereka. Pembelajaran fisika yang kontekstual akan memudahkan anak bangsa dalam mempelajari sumber daya alam.

Sungai merupakan salah satu obyek kontekstual dalam pembelajaran fisika. Sungai merupakan tempat berkumpulnya air yang berasal dari hujan yang jatuh didaerah tangkapannya dan mengalir dengan takaranya. Sepanjang aliran sungai terdapat banyak fenomena fisika yang kontekstual dan menarik, salah satunya adalah proses pembelokan sungai atau meander.

Jawa Timur merupakan salah satu provinsi yang dilalui oleh aliran sungai yang sangat besar, yaitu Sungai Brantas. Sungai Brantas merupakan sungai terbesar dan terpanjang kedua di Pulau Jawa. Berdasarkan BBWS Sungai Brantas bahwa luas wilayah Sungai Brantas meliputi 25% luas Jawa Timur dan 9% luas seluruh pulau Jawa. Sungai Brantas melewati beberapa kota dan kabupaten di Provinsi Jawa Timur. Kota dan kabupaten tersebut meliputi Malang, Blitar, Tulungagung, Kediri, Jombang, Mojokerto dan bercabang di Sidoarjo dan Surabaya. Mata air Sungai Brantas terletak arboretum sumber brantas yang berada di kota Batu, sedangkan muara Sungai Brantas berada di Kota Sidoarjo dan Surabaya.

Fenomena unik yang terjadi di aliran Sungai Brantas adalah mata air yang berada di Bumi aji, Kota batu, bertemu dengan banyak mata air pada daerah yang sama. Aliran gabungan tersebut mengalir melewati sisi timur Pegunungan Kawi menuju Kota Malang dan kemudian mengalir keselatan menyusuri lembah antara Pegunungan Semeru dan Kawi hingga di Kota dan Kabupaten Blitar. Tepat pada daerah Blitar aliran Sungai Brantas tidak begitu saja bermuara pada pantai di kabupaten Blitar, namun memilih mengalir kearah barat menyusuri Kabupaten Tulungagung. Aliran Sungai Brantas di Kabupaten Tulungagung pun tidak langsung membuang airnya ke pantai selatan di Kabupaten Tulungagung. Aliran brantas tersebut memilih mengalir ke utara melewati lembah antara Pegunungan Kelud dan Wilis menuju daerah Kediri, Jombang, Mojokerto dan bermuara di Sidoarjo dan Surabaya.

Aliran Sungai Brantas tidak dapat bermuara di pantai selatan, baik di Kabupaten Blitar, Tulungagung, Trenggalek bahkan pacitan. Aliran besar tersebut memilih bermuara di pantai utara. Bahkan anak-anak sungai pada daerah tersebut yang tidak bermuara di sungai besar Brantas memerluakan sebuah tunnel untuk memuarakan aliran ke pantai utara. Keunikan inilah yang mendorong penyaji untuk mengkaji ilmu mengenai Meander Besar "Brantas", Tanah Vulkanik Kedap Air Membalikkan Aliran Berkekuatan ke Utara.

Dasar teori

Aliran Sungai pada umumnya yang tidak lurus namun memiliki belokan-belokan pada beberapa titik. Belokan-belokan sungai biasa disebut dengan meander. Menurut istilah meander merupakan bentukan air sungai yang berkelok-kelok. Meander terbentuk karena adanya pergerakan air pada aliran sungai yang mengikis salah satu tepi sungai dan memperluas lembahnya, sedangkan pada sisi yang lain terjadi pengurangan energi hingga terbentuk endapan. Biasanya meander terjadi pada sungai bagian hilir.

Sepanjang aliran sungai terdapat beberapa lengkungan maupun tikungan yang membuat sungai tampak anggun, mulai dari pembelokan yang halus hingga lengkungan rapat. Pembelokan maupun lengkungan pada sungai disebut meander. Meander pada sungai tidak dapat dihindari, hal ini merupakan proses pembentukan sungai tersebut. Berdasarkan dasar teori, meander sebuah sungai berada pada bagian sungai yang memiliki kemiringan yang curam. Beberapa hal yang dapat menimbulkan meander sungai adalah perbedaan kecepatan aliran sungai dan pembelokan untuk menyeimbangkan antara proses erosi dan sedimentasi .

PEMBAHASAN DAN HASIL TINJAU LAPANGAN

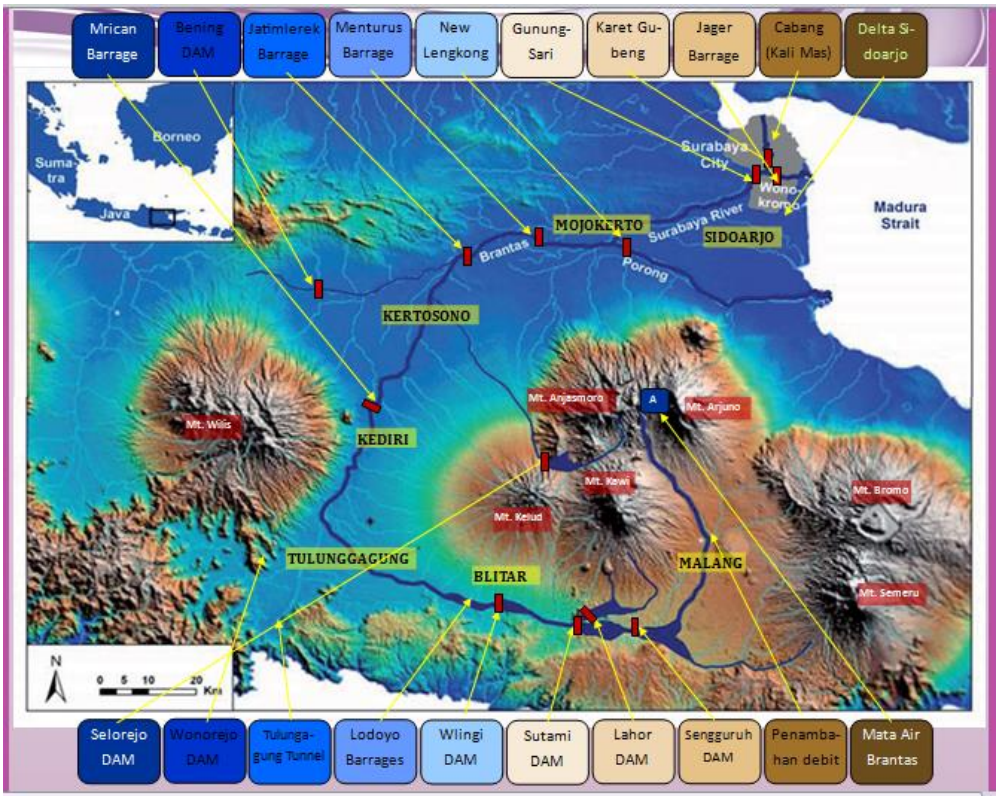
MEANDERS BESAR SUNGAI BRANTAS

Aliran dan bentuk Sungai Brantas

Sungai Brantas merupakan wujud major dari banyak mata air, namun terdapat satu mata air yang bisa disebut titik nol sungai brantas. Mata air ini mengalir secara kontinyu dibandingkan beberapa mata air lain yang menuju sungai brantas. Mata air tersebut dinamakan Arboretum Sumber Brantas. Arboretum Sumber Brantas tersebut adalah mata air yang terdapat di Dusun Sumber Brantas, Desa Tulungrejo - Bumiaji, kurang lebih 18 Km utara Kota Batu. Mata air Brantas ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar 1. Papan nama dan sumber Mata Air Titik Nol Sungai Brantas

Sungai brantas merupakan sungai pada umumnya yang merupakan sebuah saluran dari gerak air yang dikendalikan oleh gravitasi, mengalir dari ketinggian tinggi ke ketinggian rendah. Berawal dari mata air arboretum sumber brantas, aliran Sungai Brantas menuju ke arah selatan untuk bertemu dengan dua sungai yang bermata air di gunung biru dan gunung anjasmara menjadi sungai sungai brantas yang lebih besar. Gabungan ketiga sungai inilah yang menghasilkan sebuah air terjun di Sungai Brantas, yaitu Cuban Talun.
Aliran sungai melewati sisi timur pegunungan Kawi hingga aliran mengalir keselatan menemui saluran pengumpul sungai-sungai lain yang lebih rendah. Aliran sungai brantas tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Arah aliran sungai Brantas (warna biru)

Sungai Brantas terbagi menjadi 3 bagian yaitu aliran sungai muda (*youthful river channel*), aliran sungai dewasa (*mature river channel)* dan aliran sungai tua (*old river channel*) [4]. Keadaan sungai brantas dalam ketiga aliran tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. *Youthful river* sungai brantas terdapat di sekitar kota Batu, Malang. Aliran di daerah Batu memiliki karakteristik yang curam (bergradien curam). Aliran disekitar kota batu berciri deras dan disertai

beberapa air terjun, salah satu air terjun di daerah Batu yang menuju Sungai Brantas adalah air terjun Cuban Talun.

a

b

Gambar 3. a) Keadaan sungai muda terletak didaerah Malang-Jawatimur. b) air terjun brantas terletak di cuban talun

2. *Mature river* dari sungai berada pada aliran sungai di Kediri dan sekitarnya. Berdasarkan teori, fasa dewasa dari sungai dicirikan dengan melambatnya aliran air dibandingkan dengan fase muda, bentuk penampang sungai berbentuk U dan memiliki lebar yang lebih besar dari pada fase sungai muda. Pengangkutan sedimen fase ini berupa tanah liat, lempung dan batuan kecil. Salah satu ciri yang mencolok dari fase ini adalah terbentuknya *floodplain* pada sungai. Berdasarkan ciri-ciri tersebut fase dewasa sungai brantas banyak terdapat didaerah Kediri. Aliran Brantas di kediri terjadi beberapa proses pelebaran. Lokasi sungai brantas yang paling lebar berada pada Desa Semampir, Kecamatan Kota, Kota Kediri dengan lebar sekitar 25 meter. Ciri *floodplain* dari aliran sungai juga terdapat di kota Kediri, salah satu *floodplain* yang sangat tamapak berada pada jembatan lama Kota Kediri.

a

b

Gambar 4.a) aliran brantas di Kota Kediri. b) Aliran brantas dengan lebar terbesar dipulau jawa terletak di Semampir-Kediri

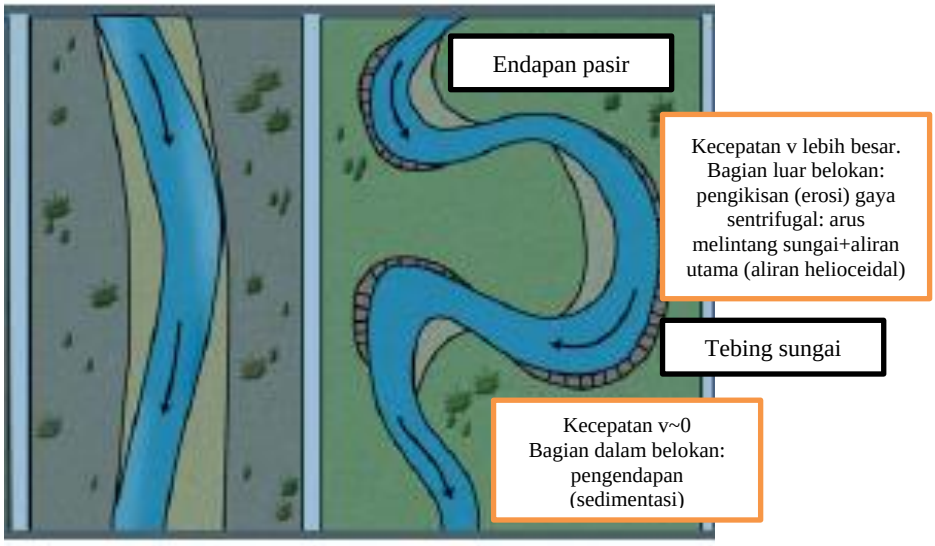
3. *Old river* dari Sungai Brantas berada pada daerah porong. Setelah melewati fasa dewasa di Daerah Kediri, Jombang dan Mojokerto, sungai brantas bercabang dua pada Bendungan Lengkong. Satu aliran mengalir ke Siodarjo, sedangkan aliran yang lain mengalir di Surabaya. Hal ini dilakukan untuk mengendalikan laju air supaya tidak terjadi bencana. Percabangan Sungai Brantas yang mengalir di kawasan Sidoarjo dinamakan Sungai Porong, sedangkan aliran yang mengalir di daerah Surabaya dinamakan Kali (Sungai) Mas. Kondisi sungai pada daerah porong mengalami pelebaran yang besar karena terjadi erosi lateral, terdapat sedimentasi sehingga air menjadi keruh dan kecepatan melambat. Muara Sungai Porong pada laut mengalami delta.

a b

Gambar 5. a) Sungai Porong dari dermaga tlocor. b) Delta Sungai Porong

Meander Sungai Brantas

Sepanjang aliran sungai brantas terdapat beberapa lengkungan maupun tikungan yang membuat Sungai Brantas tampak anggun, mulai dari pembelokan yang halus hingga lengkungan rapat. Pembelokan maupun lengkungan pada Sungai Brantas disebut meander Brantas. Meander pada Sungai Brantas tidak dapat dihindari, hal ini merupakan proses pembentukan Sungai Brantas tersebut. Berdasarkan dasar teori, meander sebuah sungai berada pada bagian sungai yang memiliki kemiringan yang curam. Beberapa hal yang dapat menimbulkan meander Sungai Brantas adalah perbedaan kecepatan aliran sungai brantas dan pembelokan untuk menyeimbangkan antara proses erosi dan sedimentasi [1].



Gambar 5. Proses meander dalam kajian fisika

Proses terjadinya meander pada Sungai Brantas adalah sebagai berikut :

1. Belokan sungai brantas sudah mulai ada dari mata air. Hal ini dikarenakan terdapat sedikit pebedaan kekasaran pada bagian dasar penampang sungai. Bagian aliran sungai yang mengenai kekasaran penampang akan mengalami gaya hambat lebih besar. Sedangakan sisi lain yang melewati bagian halus dan rata akan mengalir lebih cepat dari bagian yang lain. Berdasarkan teori, fluida yang bergerak melewati benda (dan sebaliknya) maka akan mengalami gaya hambat $\overline{D}$ yang melawan gerakan relatif dan sesuai dengan arah kemana fluida mengalir relatif terahadap benda. [2]

$$D = \frac{1}{2} C \rho A v^2 \quad (1)$$

2. Sisi lain yang mengalami kecepatan lebih akan mengerosi bagian sungai yang dilalui. Hal ini dikarenakan ketika kecepatan sungai meningkat viskositas tidak mampu meredam aliran yang

semrawut. Aliran air menjadi lebih acak, kompleks dan berturbulen. Ketika arus turbulen meningkat akan terjadi pusaran di arus (*eddie*) dari arah horisontal dan vertikal. Pada Bagian bawah Sungai Brantas yang mengalami kecepatan lebih akan terjadi arus *eddie* yang berpusar. Pusaran ini mampu melawan gaya gravitasi dan mengangkat material dari aliran sungai. Secara umum aliran turbulen mampu mengangkat dan membawa material di dalam aliran. Hal ini akan mengakibatkan dinding sungai brantas mengalami proses gerusan dan terbentuk sedikit cekungan. Fenomena ini menyebabkan bagian luar lengkungan menjadi dalam dan berbentuk kolam.

3. Dikarenakan debit keseluruhan sungai konstan, maka sisi sungai yang lebih dalam akan mengambil air lebih dan memberikan sisa air ke sisi yang lebih dangkal. Hal ini mengakibatkan aliran sungai brantas yang berada didalam lengkungan akan lebih lambat. Berdasarkan teori kontinuitas

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \tag{2}$$

4. Sedimen yang terbawa arus lambat akan diletakkan aliran sungai di dalam lengkungan, sedangkan bagian luar lengkungan akan membentuk belokan lebih besar dan tajam.

Meander merupakan bagian sungai berkelok yang memiliki bentukan yang tidak simetris (asimetris). Seperti pada gambar 3. Berciri asimetris karena terdapat perbedaan antara bagain dalam dan bagian luar dari belokan sungai. Perbedaan tersebut tercantum dalam tabel berikut.

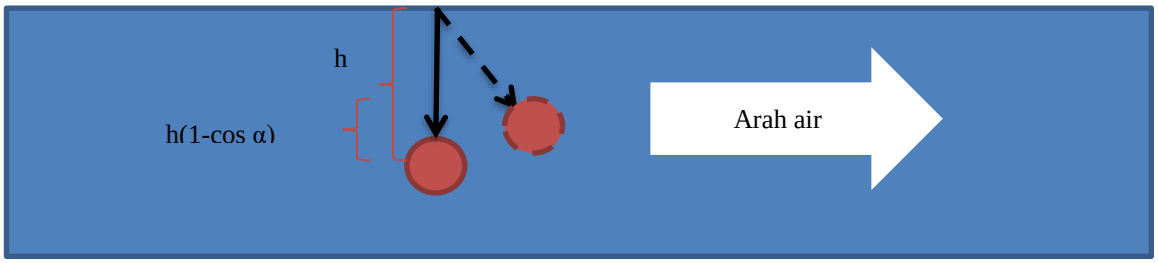
Tabel 2.1 Kondisi Meander Sungai

Bagian dalam (cembung)	Variabel	Bagian luar (cekung)
Pelan	Kecepatan aliran	Cepat
Dangkal	Kedalam	Dalam
Endapan	Proses geografi	Erosi
Lereng yang miring	Ciri fisik	Jurang sungai

Berdasarkan tinjau langsung daerah meander Sungai Brantas bagian hulu pada Kabupaten Malang tanggal 9 Januari 2017 diperoleh data sebagai berikut:

Luar		Dalam	
h (cm)	α(°)	h (cm)	α(°)
20	18	20	8
40	18	-	-

Dengan metode pengukuran laboratorium sederhana yang akan dikembangkan lebih lanjut



Bandul yang dimasukkan dalam air akan menyimpang sebesar α. Menurut hukum kekekalan energi diperoleh

$$Ep1 + Ek1 = Ep2 + Ek2 \tag{3}$$

$$m_{bandul} g h_1 + \frac{1}{2} m_{air} v_{air}^2 = m_{bandul} g h_2 + \frac{1}{2} m_{air} v_{air}^2 \tag{4}$$

Pada saat bandul tegak lurus permukaan Ek1=0, h1=h. Pada saat kedalaman tertentu dengan laju v maka h2= h(1-cos α). Sehingga diperoleh

$$v_{air}^2 = \frac{2\rho_{benda} g l(1-\cos\alpha)}{\rho_{air}} \tag{5}$$

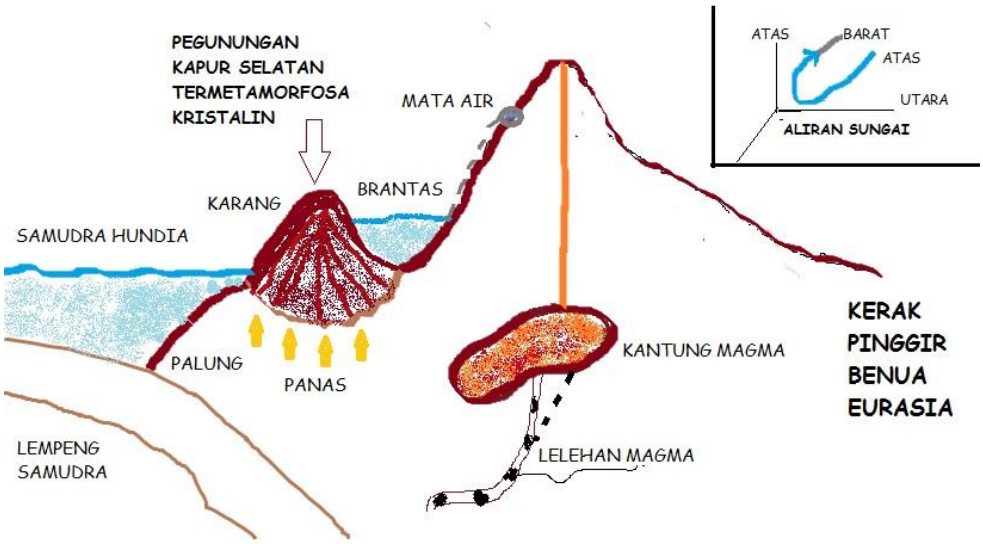
Maka diperoleh kecepatan air di belokan luar lebih besar dari kecepatan air dibelokan dalam. Dari sisi kedalam sungai pun juga berbeda, kedalaman sungai bagian luar adalah 40 cm sedangkan kedalaman sungai bagian dalam hanya 20 cm.

Secara kualitatif berdasarkan map 3D, meander Sungai Brantas banyak tampak di aliran Blitar dan setelahnya. Meander di daerah Blitar tampak seperti pada gambar 6.

Gambar 6. Meander pada kota Blitar

Pembelokan sungai brantas

Fenomena unik yang terjadi di aliran Sungai Brantas adalah mata air yang berada di Bumi aji, Kota batu, bertemu dengan banyak mata air pada daerah yang sama. Aliran gabungan tersebut mengalir melewati sisi timur Pegunungan Kawi menuju Kota Malang dan kemudian mengalir keselatan menyusuri lembah antara Pegunungan Semeru dan Kawi hingga di Kota dan Kabupaten Blitar. Tepat pada daerah Blitar aliran Sungai Brantas tidak begitu saja bermuara pada pantai di kabupaten Blitar, namun memilih mengalir kearah barat menyusuri Kabupaten Tulungagung. Aliran Sungai Brantas di Kabupaten Tulungagung pun tidak langsung membuang airnya ke pantai selatan di Kabupaten Tulungagung. Hal ini dikarenakan oleh aliran air yang mengalir dari atas ke bawah, sedangkan sepanjang selatan Provinsi Jawa Timur memiliki dataran yang lebih tinggi. Namun terdapat hal yang lebih mendasar dalam mempengaruhi aliran Sungai Brantas, yaitu adanya pegunungan aktif. Aliran sungai Brantas yang membelok diapik oleh dua pegunungan aktif yaitu Gunung Kelud dan Gunung Semeru. Batuan kapur sepanjang selatan Provinsi Jawa Timur terletak di dekat magma yang berada pada dua gunung aktif. Hal inilah yang menyebabkan batuan tersebut menjadi kritalin yang bersifat kedap air. Bukit-bukit batuan kristalin (metamorf) dari endapan vulkanik Wilis-Kelud-Kawi dan kapur yang terdapat di tepi selatan provinsi jawa timur menahan aliran sungai ke selatan dalam keadaan debit aliran membesar. Fenomena termetamorfosanya batuan kapur selatan terilustrasi dari gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi metamorfosa batuan selatan Provinsi Jawa Timur

Keadaan inilah yang menyebabkan Tulungagung sebagai penghasil marmer. Marmer adalah batuan kristalin kasar yang berasal dari Batu kapur atau dolomit. Marmer yang murni berwarna putih dan terutama disusun oleh mineral kalsit. Proses metamorfosis atau malihan ini disebabkan oleh pengaruh temperatur dan tekanan. Temperatur dan tekanan yang dihasilkan oleh gaya endogen menyebabkan terjadinya kristalisasi kembali pada batuan tersebut.

Keadaan batuan kapur (CaCO3) pada daerah Tulungagung inilah yang menyebabkan daerah tersebut sering terjadi banjir. Banjir yang dikarenakan air tidak mampu meresap dengan baik pada tanah. Berdasarkan wawancara pada pegawai Jasa Tirta, bahwa daerah Tulungagung sering terjadi banjir sebelum adanya terowongan Niyama. Terowongan inilah yang berfungsi mengalirkan air pada daerah Tulungagung ke pantai selatan. Terowongan ini dibangun dengan tujuan utama sebagai pengendali banjir.

A b

Gambar 8. a) terowongan Niyama b) Pegunungan Kapur Selatan

Selanjutnya, lembah curam antara Wilis-Kelud menjadi arah baru penjelajahan Brantas ke utara untuk mengaliri dataran lembah lebar antara Pegunungan Kapur Utara dan lereng (lebih landai) Kelud-Kawi-Arjuno-Welirang.

KESIMPULAN

1. Fenomena meander besar sungai brantas yang berbelok ke utara dikarenakan batuan kristalin yang termetamorfosa menjadi kedap air
2. Perlu mengembangkan fisika sungai dikarenakan terdapat berbagai fenomena kontekstual yang memudahkan memahami fisika siswa dan pengetahuan bagi masyarakat.

PENELITIAN LANJUTAN

Akan mengembangkan sebuah lab alam dengan modul praktikum pada posisi dan point di sepanjang aliran sungai brantas. Lab alam tersebut meliputi

- Pengukuran kecepatan dan debit sungai melalui hubungan energi mekanik dan energi kinetik
- Energi dan debit Bendungan
- Arah dan gaya sungai berbelok pada sungai
- Titik temu sungai berhubungan dengan viskositas
- Pintu air/irigasi
- Pengelolaan air minum
- Topik delta

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Pegawai jasa tirta daerah malang, tulungagung dan porong yang telah memberikan beberapa keterangan terkait aliran Sungai Brantas serta Bapak yang telah menemani menyusuri aliran Sungai Brantas.

REFERENSI

1. E. Johnson, *Contextual Teaching & Learning; Menjadikan Kegiatan Belajar-Mengajar Mengasyikan dan Bermakna*. MLC, Bandung (2007)
2. Reynolds etc, *Expolring Geology*, Online (www.mhhe.com/earthsci/**geology**/Reynolds1e/ReviewSite/EG_TOC_v19_10-06.pdf)(2006)
3. Halliday etc, *Fisika dasar*. Jakarta, Erlangga (2010)
4. L. Immor, *Classifying Rivers-Three Stages of River Development.* Online (Geoteach.com)