

MORFOTEKTONIK DAN GEOMETRI MEANDER KALITIRTO BERBAH DIKONTROL OLEH KARAKTERISTIK INTERAKSI SESAR AKTIF

Agus Sutiono^[1], Bambang Prastistho^[1], C. Prasetyadi^[1], dan Supartoyo^[2]

^[1]Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

^[2]Pusat Volcanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi

e-mail: sutionosagus@gmail.com

ABSTRAK

Tegangan deformasi regional di daerah penelitian berasal dari gaya subduksi yang dikeluarkan di Selatan Pulau Jawa yakni di lokasi Palung Jawa. Berdasarkan data pengukuran di lapangan, tegangan regional maksimum (σ_1) disimpulkan merambat di sepanjang azimuth berarah Utara – Selatan (U-S) berkisar dari N355°E hingga N10°E. Tekanan regional ini membentuk fraktur regangan yang menonjol pada generasi pertama, yang ditunjukkan oleh karakteristik rekahan U-S; Sesar Girijati (GF), Sesar Sumbermulyo Parangtritis (SPF) dan Kalitirto - Gn.Bangkal - Jombor (KBJ). Rekahan rekahan tersebut berorientasi riedel tension cenderung memiliki karakter sesar aktif. Penting melakukan identifikasi jaringan sesar aktif tersebut untuk dijadikan acuan sebagai petunjuk praktis oleh pemerintah daerah, dalam melaksanakan amanat undang undang nomor 24 dan 27 tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana dan tentang Penataan Ruang. Oleh karena itu, makalah ini mengurai sebagian dari jaringan sesar aktif di Yogyakarta dengan melihat indikator antara dimensi Meander Kalitirto di Berbah dan interaksi jaringan pada setiap interkoneksi sesar penentu bentuk geometri meander tersebut. Liniamen Berbah memperlihatkan dua tren sepanjang arah azimuth N 30°E dan N 180°E yang menunjukkan orientasi menyimpang dari U-S ke TL-BD. Pembentukan sag-pond dari sebuah fitur morfotektonik yang ditunjukkan oleh laterally confine meander Sungai Opak di Kalitirto selebar 900 m, membentuk dua meander dengan dimensi 571 m lebar dan 723 m panjang (Meander Kalitirto di Utara) dan 216 m lebar dan 399 m panjangnya (Meander Kalitirto di Selatan). Meskipun, keberadaan meander di sepanjang Sungai Opak itu umum dijumpai, tetapi untuk meander yang ditemukan di Desa Kalitirto dan Jogotirto secara morfotektonik memiliki fisik dan dimensi yang unik. Meander ini mengekspresikan ukuran dan bentuk yang aneh, yang secara dramatis memiliki dimensi lebar lebih besar dan berbeda dibandingkan perkembangan meander lainnya di sepanjang Sungai Opak. Hal ini disebabkan oleh fraktur regangan membentuk sag-pond ketika cekungan berkembang di dalam zona sesar. Susunan interaksi sesar di Sag-Pond Berbah melibatkan perluasan Sesar Kalitirto - Gn Bangkel Jombor (KBJ) yang berorientasi Utara-Selatan bersama dengan sesar generasi kedua yakni sesar mendatar TL-BD. Karakteristik interaksi dua sesar ini dalam orientasi yang berbeda dari perpindahan pasangan set sesar sintetis dan set sesar antitetis ekstensional bertanggung jawab untuk membentuk tegangan sag-pond tersebut.

Kata kunci: Interaksi, Morfotektonik, Sag-Pond, Sesar Aktif

PENDAHULUAN

Bila memperhatikan bentuk dan ukuran kelokan - kelokan sungai yang disebut sebagai meander di sepanjang Sungai Opak, maka kita akan menemukan meander di Desa Kalitirto dengan ekspresi fisik paling unik. Memiliki dimensi ukuran lebih besar dibanding dengan ukuran meander lainnya di sepanjang Sungai Opak tersebut. Timbul pertanyaan, mengapa meander yang unik ini hanya terjadi di Kalitirto dengan bentuk ukuran yang dramatis pada dimensi lebar 571 m dan panjang 723 m (Meander Kalitirto di Utara) dan 216 m lebar dan 399 m panjangnya (Meander di Selatan). Untuk menjawab pertanyaan tersebut digunakan pertimbangan proses pada metode analisis morfotektonik dan strain pergeseran di dalam zona interaksi sesar.

Keller dan Printer (1996) menyebut kaidah proses geomorfologi yang terdiri dari empat indikator yang dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Parameter perubahan bentuk alam yang berkelompok merupakan fungsi waktu yang dapat diprediksi,
2. Parameter perubahan mendadak merupakan ambang batas awal terlampaui sebagai evolusi bentang alam,
3. Parameter respon kompleks adalah hasil interaksi antara evolusi bentang alam dengan hasil awal dalam proses yang kompleks,

Parameter perubahan bentuk cermin dari perubahan proses.

Nampaknya ke empat parameter yang disampaikan oleh Keller dan Printer dapat diterapkan untuk

menganalisis keberadaan meander Kalitirto dan sekaligus genetiknya.

Peristilahan dalam makalah ini yang berkaitan dengan interaksi sesar dan hubungannya antara satu sama lainnya mengikuti kaidah Peacock dkk., (2018), dengan beberapa modifikasi tergantung pada kondisi lain.

Geometri, perpindahan dan strain dikendalikan melalui karakteristik interaksi sesar antara satu dengan sesar lainnya diungkapkan oleh Peacock dkk., (2018).

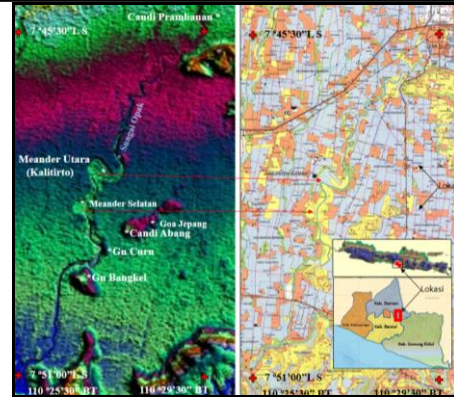
Karena penutupan jaringan sesar yang berkembang di lokasi oleh endapan sungai yang berasal dari material Merapi muda, interaksi sesar satu dengan lainnya tidak dapat langsung diukur dan dicatat. Intermediasi proses analisis digunakan Untuk memecahkan masalah ini. Dengan demikian, makalah ini merangkum hasil analisis fitur morfotektonik untuk populasi fraktur di seluruh bukit yang berdekatan dengan object penelitian sesar aktifnya, berdasarkan data pemetaan lapangan dan pemetaan citra satelit.

Distribusi set data kelompok pola rekahan-rekahan dipetakan dan diidentifikasi koneksitasnya antara kelompok satu dengan yang lain. Catatan set data mengenai indikator azimuth orientasi bentuk lahan seperti; teras dan kelurusan sungai diintegrasikan dengan set data pola rekahan, untuk membangun kerangka kerja dalam memandu tindakan evaluasi karakteristik interaksi sesar aktif dan indikator karakteristik morfotektonik meander, sebagai kontrol evolusi bentang alam Meander Kalitirto dalam proses responnya.

METODE DAN DATA

Lokasi

Daerah penelitian terletak di Propinsi Yogyakarta meliputi daerah yang masuk ke dalam Kabupaten Sleman di bagian Utara yakni; di Selatan Candi Prambanan sampai Gn Curu dan daerah di Bagian Selatan masuk ke dalam daerah administrasi Kabupaten Bantul. Sungai Opak dan Parit di Timur Gn Bangkel adalah batas antara Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul. di mana daerah ini memiliki seismologis aktif.



Gambar 1: Daerah penelitian meliputi Desa Kalitirto dan Jogotirto Kecamatan Berbah Kab. Sleman (biru) hingga Desa Jombor Kec Piyungan Kab. Bantul (kuning).

Tatanan Geologi

Tatanan geologi dihasilkan dari interaksi antara lempeng Indo-Australia dan Lempeng Sunda. Lempeng Indo-Australia menunjam di Palung Jawa ke arah Utara sedikit ke arah Timurlaut, dengan kedalaman antarmuka lempeng berkisar antara 100 hingga 200 Km. Gempa Besar Yogyakarta 2006, terjadi secara tidak langsung terkait dengan rezim subduksi. Fokus pada tepi area fraktur lemah antara dua blok busur depan. Akumulasi tegangan pada lempeng utama karena perubahan sudut subduksi dari antarmuka lempeng 150 Km mendorong ke utara diungkapkan oleh Wagner dkk. (2007).

Daerah penelitian tertutup oleh bahan klastik endapan Resen Merapi muda. Material ini, umumnya lunak yang terdiri dari piroklastik dan breksi ketebalan kira-kira 150-200 m. Batuan Miosen dijumpai sebagai Formasi Semilir yang terdiri dari perselingan antara batupasir vulkanik, breksi dan tuf lapili yang tebal (Rahardjo dkk., 1995). Endapan vulkanik Merapi memenuhi Bantul Graben (Van Bemmelen 1949), yang dibatasi oleh Sesar Opak dan memicu pergerakan tanah untuk menyebabkan bencana dalam gempa bumi besar terakhir (Walter dkk., 2008).

Morfotektonik

Morfotektonik merupakan bidang ilmu yang mempelajari hubungan antara struktur geologi dan bentuk lahan atau lebih spesifik sebagai hubungan neotektonik dan bentuk lahan (Stewart dan Hancock., 1994). Identifikasi fitur-fitur morfotektonik seperti; *three angular facet*, *trapezoid facet*, *terrace*, *lineament* dan *scarp*, dilakukan pada penelitian ini. Tahap inisiasi kerja dalam identifikasi morfotektonik

dan pemetaan fiturnya menggunakan citra DEMNAS Digital Elevation Model 8 m resolution <http://tides.big.go.id/DEMNAS>. citra ini cukup memadai untuk melakukan pemetaan dan identifikasi morfotektonik tersebut.

Fitur Morfotektonik

Fitur morfotektonik di daerah penelitian yang paling menonjol adalah Meander Kalitirto dan Jogotirto itu sendiri, tetapi di dalam fitur ini tersusun lagi fitur-fitur yang menonjol juga, namun dari sisi arah orientasi pembentukan teras-teras sungai. Mereka dibatasi oleh tebing di bagian luar yang mempunyai orientasi N160°E, kemudian secara berangsur berubah tren pada teras 1 berorientasi N140°E, teras 2 N120°E dan teras 3 N100°E atau kontra azimuthnya N340°E, N320°E, N300°E dan N280°E (Gambar 2).

Fitur morfotektonik trapezoid facet dan three angular facet dapat ditemui di bukit Candi Abang, Gn.Bangkal dan Goa Jepang. Sedangkan di Gn. Curu menampilkan ekspresi fitur scarp yang berorientasi ke arah Utara- Selatan dengan azimuth sekitar N175°E dengan ketinggian 25 m (Gambar 2).

Identifikasi Garis kelurusan sistem sungai di Desa Kalitirto dan Jogotirto Berbah menghasilkan dua kelurusan, yang kemungkinan terkait dengan sesar utama pembentuk sag pond. Memiliki orientasi tren sepanjang arah azimuth N 30°E dan N180°E yang mengalami pembelokan orientasi dari U-S ke TL-BD.

Lateral confine meander adalah batas kurungan kelokan sungai di bagian Timur laut. Pengukuran

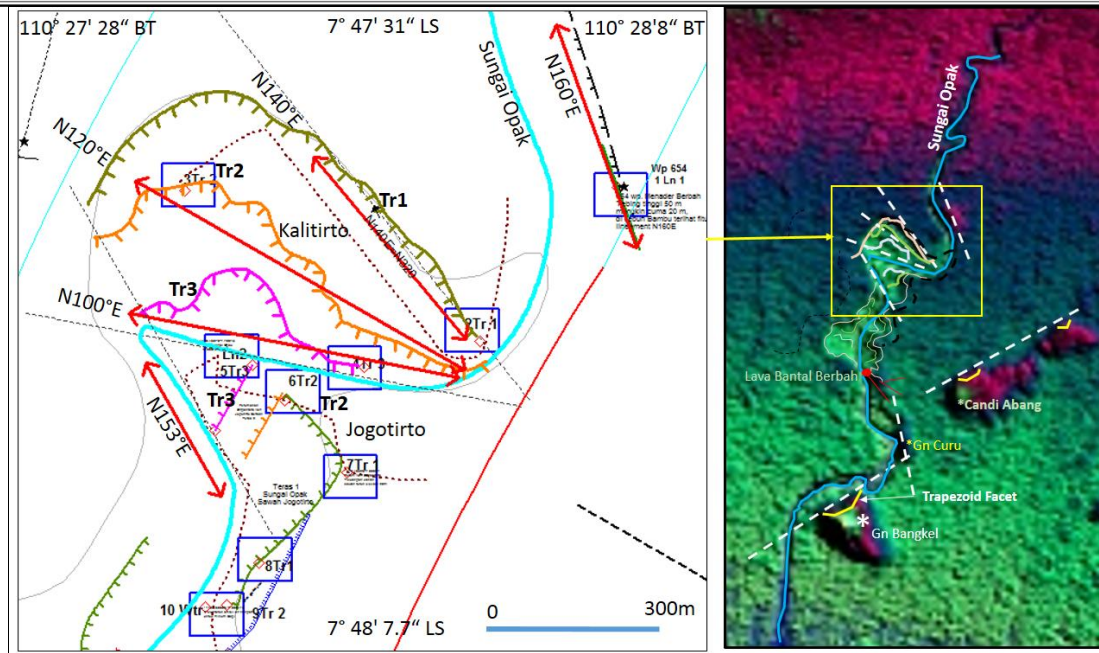
azimuth kelurusan N30°E ke arah Desa Tamanmartani yang memiliki lebar 300 m. Berubah dimensi kurungan tersebut secara dramatis ketika berada di Kalitirto hingga mencapai lebar 900 m. Perkembangan Pembentukan sag-pond yang ditunjukkan oleh dua set teras sungai, dengan dimensi 571 m lebar dan 723 m panjang (Meander Kalitirto Utara) dan Meander Selatan 216 m lebar dan 399 m panjang. Sedangkan ke arah Gn Bangkel di Selatan, kurungan meander kembali menyempit dengan dimensi lebar 200m pada azimuth N175°E - N180°E.

Observasi Lapangan dan Pemetaan

Pengukuran kekar dilakukan di bukit bukit sekitarnya dan dua singkapan yang muncul sepanjang Sungai Opak. Namun umumnya di sekitar Sungai Opak tidak dapat dilakukan karena tertutup oleh Endapan Merapi muda sehingga ketersediaan data fraktur terbatas. Untuk area ini dilakukan pengukuran fitur morfotektonik kelurusan gawir, aliran sungai dan batas teras sungai.

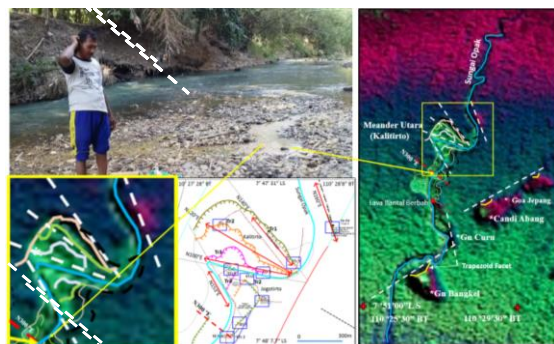
Gawir dijumpai dengan orientasi kelurusan N160°E di (1Ln1) Dusun Bendosari Desa Madurejo, berorientasi sejajar dengan Sungai Opak di segmen tersebut. Tinggi gawir ini sekitar 20 m yang membentang di sepanjang kebun bambu.

Tiga set kelurusan teras dan sungai yang penting di dalam kompleks meander telah diidentifikasi dengan citra DEMNAS. Selanjutnya dipetakan di lapangan adalah; 1) teras 1 berorientasi N140°E, 2) teras 2 N120°E 3) teras 3 N100°E dan orientasi kelurusan sungai N120°E atau kontra azimuthnya N340°E, N320°E, N300°E, N280°E dan N333°E (Gambar 2).



Gambar 2: Meander Kalitirto pada teras-teras sungainya (peta kiri). Termasuk kelurusan Candi Abang mengikuti fitur morfotektonik trapezoidal facet dan three angular facet (peta kanan) (garis kuning). Fitur morfotektonik scarp $N175^{\circ}E$ terukur di sisi Barat Gn Curu (garis putih putus-putus).

Disamping fitur kelurusan, di lokasi pengamatan 10 wtr dijumpai sumber air relatif hangat dan jernih tetapi berbau sulfida yang tidak begitu menyengat. Penduduk setempat seperti Pak Muntaroh (peternak sapi) sering menggunakan sumber air ini untuk mandi bila air agak surut (Gambar 3).



Gambar 3: Lokasi air hangat berbau sulfida, Pak Muntaroh sedang akan mandi di sumber air tersebut. Kemungkinan sesar $N300^{\circ}E$ (garis merah putus-putus) melintasi sumber air.

Pengukuran fraktur dilakukan di sekitar lava bantal Berbah memiliki kesan sesar dengan kedudukan $N155^{\circ}E/57^{\circ}$ dan $N140^{\circ}E/57^{\circ}$. Struktur tersebut memotong batupasir tuffaan dari Formasi Semilir dengan kedudukan lapisan $N350^{\circ}E/8^{\circ}$ dan $N10^{\circ}E/5^{\circ}$. Bergerak ke arah tenggara sejauh 170 m di area bekas

tambang batu dijumpai pola fraktur $N140^{\circ}E/65^{\circ}$ dan $N120^{\circ}E/60^{\circ}$ (Gambar 4.a).

Rekahan terbuka berukuran 3-5 m dijumpai di Candi Abang berkedudukan yang memiliki orientasi $N355^{\circ}E/80^{\circ}$ atau $N175^{\circ}E/80^{\circ}$. Di sini kemiringan lapisan relatif datar sekitar 4° dengan orientasi jurus $N70^{\circ}E$, karena kemiringan relatif datar maka jurus lapisan tidak konsisten ada yang bernilai $N115^{\circ}E$. Lokasi dekat Goa Jepang rekahan ekstension terukur dengan kedudukan $N350^{\circ}E/80^{\circ}$ dan $N340^{\circ}E/80^{\circ}$. Berasosiasi dengan fraktur lain memperlihatkan orientasi Barat-Timur $N80^{\circ}E/80^{\circ}$ (Gamabar 4.b).

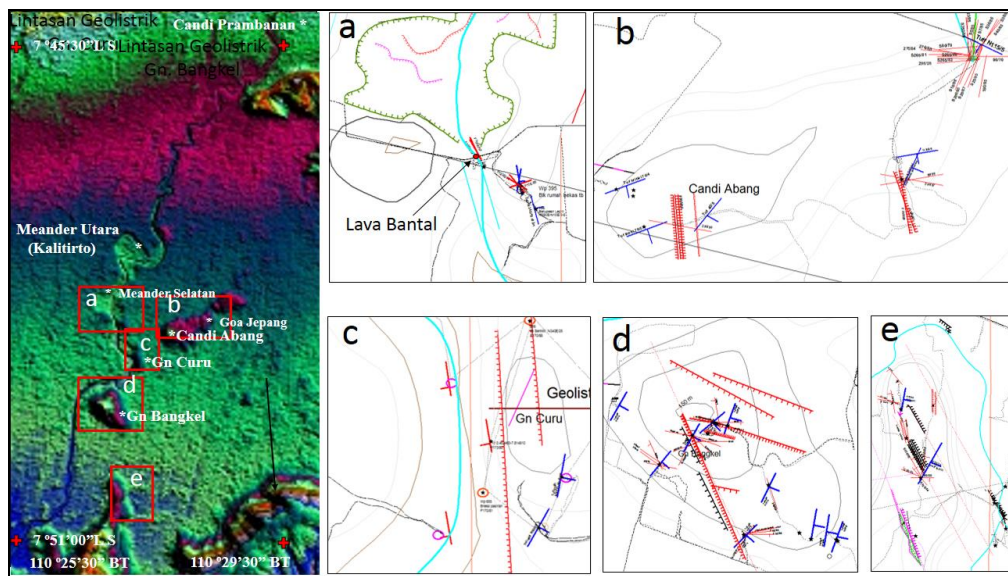
Kedudukan perselingan lapisan antara batupasir, tuff dan breksi vulkanik dari Formasi Semilir di Gunung Curu memiliki kemiringan yang besar bila dibanding dengan daerah sekitarnya yang relatif datar. Kemiringan ke arah timur mencapai 35° dan rata rata 25° , beberapa melandai menjadi 20° hingga 10° dengan azimuth jurus berkisar dari $N350^{\circ}E$ sampai $N10^{\circ}E$. di bagian Utara Gn. Curu pada wp 656 terukur sesar berkedudukan $N170^{\circ}E/88^{\circ}$ memotong breksi vulkanik dengan sisipan batupasir $N350^{\circ}E/25^{\circ}$. Sesar lain tercatat berada di lereng dengan kedudukan $N25^{\circ}E/77^{\circ}$. Sedangkan sisi Barat dijumpai tebing sesar $N170^{\circ}E/80^{\circ}$. Bergeser ke arah Barat lagi (di Sungai Opak) dijumpai rekahan yang memiliki orientasi $N175^{\circ}E/80^{\circ}$ (Gambar 4.c).

Observasi lapangan selanjutnya bergerak ke arah Gn. Bangkel dijumpai struktur yang menonjol di sana yang merupakan ekstensional dengan kedudukan $N150^{\circ}E/80^{\circ}$, struktur ini membentuk gawir di puncak samping makam Ki Sutatmo Suryokusumo. Struktur tersebut berasosiasi dengan regangan $N280^{\circ}E/77^{\circ}$ atau kontra azimuthnya $N100^{\circ}E/80^{\circ}$.

Karakteristik batuan sedimen disini mirip dengan di Gn. Curu yakni perselingan batupasir tuff dan breksi vulkanik dari Formasi Semilir, tetapi dengan kemiringan lebih landai dibandingkan dengan

kemiringan di bukit Gn. Curu, di sini hanya sekitar 10° - 12° dan azimuth jurus sekitar $N20^{\circ}E$ sampai $N50^{\circ}E$ (Gambar 4.d).

WP 557 di Selatan daerah penelitian (Ds Jombor) adalah lokasi pengamatan lapangan yang terakhir. Di lokasi ini ditemui rekahan membentuk blok blok dengan orientasi kedudukan $N5^{\circ}E/77^{\circ}$, $N350^{\circ}E/75^{\circ}$ dan $N175^{\circ}E/80^{\circ}$. merupakan struktur kekar regangan dengan ukuran 10-20 m memiliki orientasi $N320^{\circ}E$, $N330^{\circ}E$ dan $N340^{\circ}E$ (Gambar 4.e).



Gambar 4: Lokasi pemetaan fraktur ; a) Lava bantal Berbah, b) Candi Abang & Goa Jepang, c) Gn. Curu, d) Gn. Bangkel dan e) Jombor Piyungan.

Rekonstruksi Model Jaringan Sesar

Rekontruksi koneksitas antara data kekar dan fitur morfotektonik melalui pemetaan struktur di lapangan dan pemetaan citra DEMNAS dalam membangun model jaringan interaksi sesar yang dapat diurai sebagai berikut;

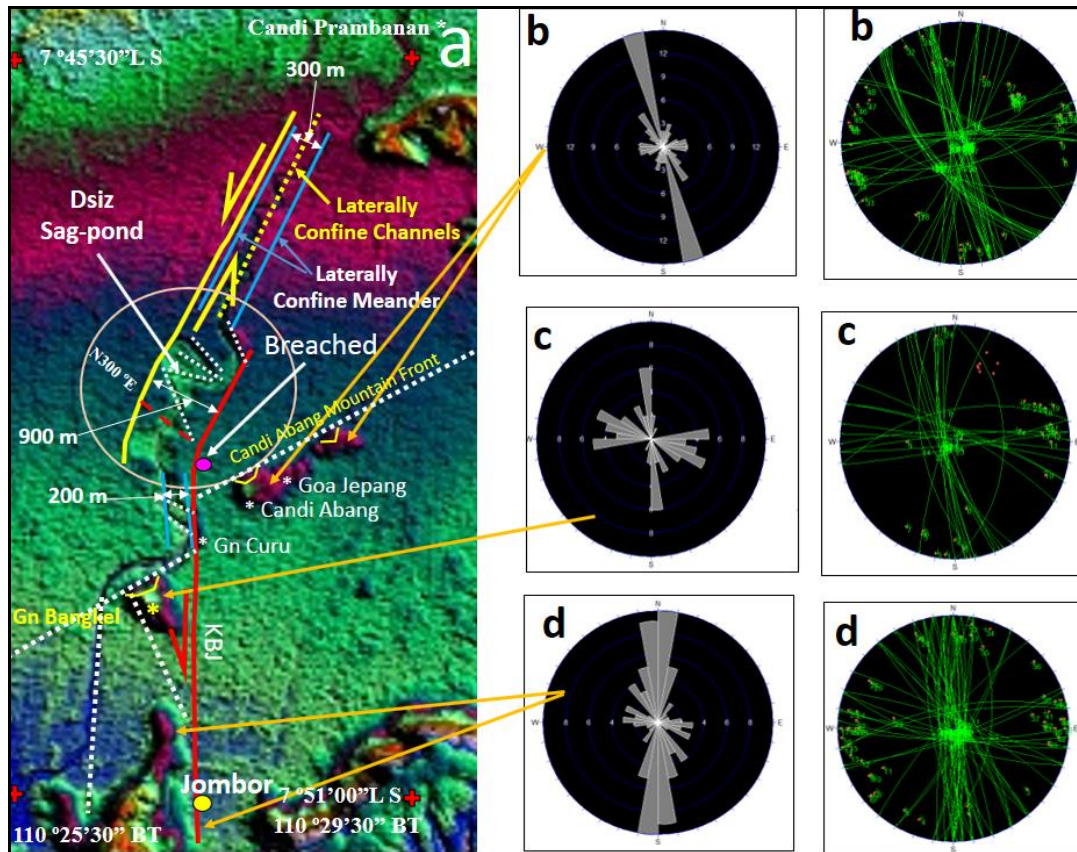
Kelurusan sesar $N30^{\circ}E$ dan $N175^{\circ}E$

Data kelurusan $N30^{\circ}E$ mengacu pada laterally confine channel yang merupakan kelurusan channel Sungai Opak di bagian Utara daerah penelitian. Fitur ini diapit oleh laterally confine meander yang tersusun dari kelurusan pembatas *outer bend* dari kelokan sungai terluar. Data kelurusan berdasarkan kepada hasil pemetaan fitur morfotektonik berbasis citra DEMNAS (Gambar 5.a garis biru). Selanjutnya garis kuning mengikuti arah $N30^{\circ}E$ (TL-BD) dan menyinggung batas meander sisi Baratlaut. Di seberang garis kuning adalah garis merah yang sejajar dengan garis kuning tetapi menyinggung di

sisi Tenggara meander. Garis merah azimuth $N30^{\circ}E$ (TL-BD) ini *breached away* yang mengalami pembelokan di Ds Jragung Jogotirto Berbah (Gambar 5 a titik kuning) menuju arah azimuth $N175^{\circ}E$ ke arah Gn. Curu, lalu menyinggung Gn. Bangkel, terus ke Ds Jombor Srimulyo Piyungan di Selatan (Gambar 5.a titik kuning).

Kelurusan muka lereng Candi Abang memiliki azimuth $N244^{\circ}E$, terpotong di Gn. Curu dan muncul kembali di sisi Baratlaut muka lereng Gn. Bangkel. Kelurusan fitur morfotektonik ini merupakan *mountain front lineament* yang terdeteksi melalui citra dengan mengikuti parameter fitur *trapezoidal facet* di Candi Abang dan *three angular facet* di Goa Jepang. Berlanjut ke arah baratdaya di Gn. Bangkel yang mengekspresikan *trapezoidal facet* pada muka lerengnya yang menghadap ke Baratlaut. Integrasi antara fitur kelurusan dan fitur bentuk lahan tersebut, merupakan parameter yang penting sebagai refleksi proses respon dari hasil interaksi antara evolusi

bentang alam dengan hasil awalnya. Kedua fitur kelurusan ini digunakan untuk garis referensi lintasan geolistrik yang akan dibahas pada bab berikutnya (Gambar 5a).



Gambar 5: Permodelan hasil rekonstruksi jaringan sesar digunakan sebagai referensi investigasi geofisika. a) Model peta struktur terkoneksi dari setiap lokasi pengukuran kekar yang berbasis pada data pemetaan lapangan dan pemetaan citra DEMNAS. Jaringan sesar di Meander Kalitirto menyusun bentuk karakteristik displacement strain within interaction zone (Dsiz). b) Orientasi kekar extensional Candi Abang dan Goa Jepang berkisar N340°E- N20°E, c) Orientasi Gn. Bangkel extension pada azimuth N350°E- N360°E, d) Orientasi azimuth extension Ds Jombor N350°E- N10°E. Tegangan regional maksimum (σ_1) disimpulkan merambat di sepanjang azimuth berarah Utara – Selatan (U-S) berkisar dari N355°E hingga N10°E.

Investigasi data geofisika

Konstruksi model jaringan sesar yang telah disusun, kemudian untuk memperkuat model jaringan sesar tersebut ke tingkat lebih tinggi derajat akurasi, digunakan data pengukuran geofisika, yakni data geolistrik dan analisis anomali gravitasi. Namun sayang data geofisika ini mengandung isu ketelitian interpolasi terutama pada data gravitasi. Hal tersebut karena disebabkan oleh *sparse* titik stasiun pengambilan data yang terlalu jauh (1900 m). Sehingga data gravitasi kurang merespon tubuh sesar dengan skala ukuran yang lebih kecil. Sebaliknya di atas *image*, batas heterogenitas sifat fisik batuan juga mengganggu pandangan, perubahan fisik sering

memperlihatkan ekspresi batas sebagai sesar. Oleh karena itu untuk menghindari *error* dan kesan ambigu sehingga mengalami keraguan dalam tindakan evaluasi keberadaan sesar. Makalah ini tidak menggunakan peta gravitasi, begitu pula tidak menggunakan penampang secara sendirian. Melainkan menggunakan integrasi antara penampang dengan model jaringan sesar sekaligus memilih lokasi dan arah penampang yang sesuai dengan model jaringan sesar yang telah dibangun, berdasarkan data pemetaan morfotektonik langsung di lapangan dan pemetaan dengan menggunakan data citra, sebagaimana yang telah ditampilkan (Gambar 6a).

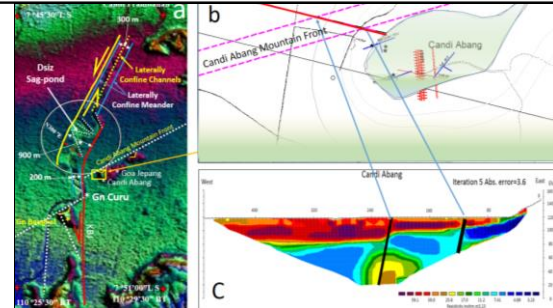
Data gravitasi yang digunakan adalah *raw data* sekunder bersumber dari hasil pengukuran Badan Geologi berupa data Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Data ini selanjutnya diproses menjadi data primer diantaranya; data *Residual Gravity*, *Horizontal Gradient* (HG) dan *Vertical Gradient* (VG).

Sedangkan data geolistrik menggunakan data pengukuran langsung di lapangan yang dilakukan pada tanggal 18 Juni 2019 dan ditambah data pengukuran oleh Supartoyo dkk., (2016).

1. Geolistrik

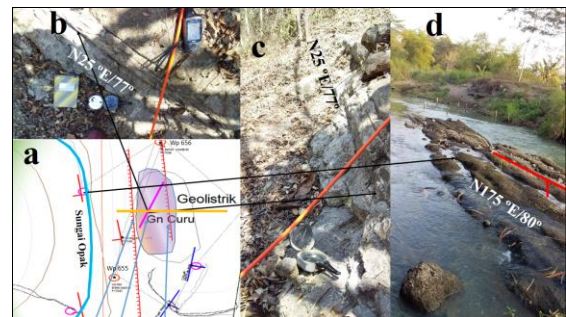
Pengukuran geolistrik dilakukan di tiga lokasi di Candi Abang, Gn. Curu dan Gn Bangkel. Pengukuran ini difokuskan pada daerah yang penting terutama daerah yang tidak dijumpai data singkapan lapangan, tujuannya untuk memeriksa hasil pemetaan dalam merekam ekspresi kemenerusan struktur sesar di bawah permukaan. Dengan demikian data sesar yang telah dicatat di atas permukaan yang diperoleh dari hasil analisis morfotektonik itu bertindak sebagai referensi struktur, kemudian fitur ini bertindak untuk membantu mengarahkan interpretasi bawah permukaan.

Penampang hasil pengukuran geolistrik di Candi Abang yang dilakukan oleh Supartoyo, dkk (2016), ketika itu dimaksudkan untuk investigasi Sesar Opak. Namun setelah dilakukan reinterpretasi yang hasilnya dipresentasikan di dalam makalah ini, di mana menggunakan metode integrasi set data antara penampang geolistrik dan analisis morfotektonik. Ternyata menunjukkan bahwa sesar tersebut bukan Sesar Opak tetapi merupakan sesar yang mengikuti *jalur Candi Abang Mountain Front*. Ekspresi yang di tampilkan pada penampang geolistrik, bahwa sesar tersebut hadir berpasangan yang menunjukkan orientasi dengan kedudukan $N244^{\circ}E/75^{\circ}$ menerus hingga ke Gn. Curu (Gambar 6a).



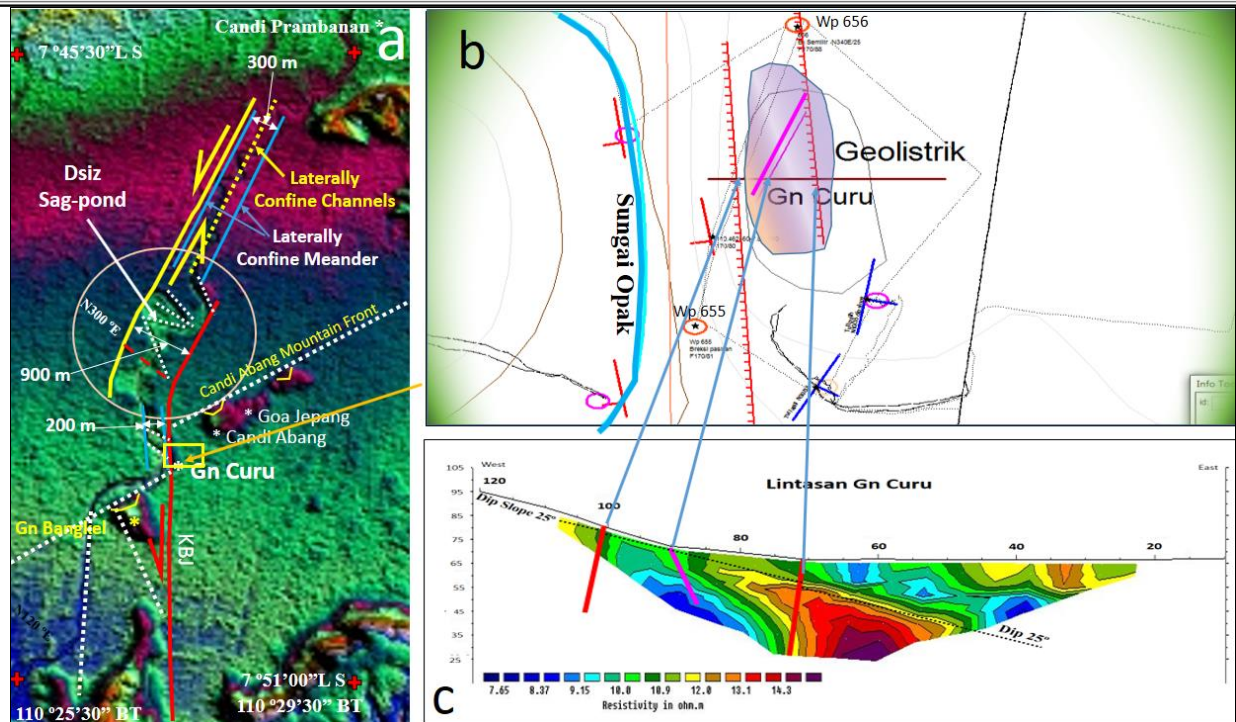
Gambar 6: a) Peta model jaringan sesar hasil rekonstruksi morfotektonik. b) Peta pengukuran geolistrik Candi Abang. c) Kelurusan struktur Candi Abang mountain front terdiri dari sepasang sesar yang saling sejajar.

Lintasan geolistrik yang di lakukan di Gn Curu dibentangkan dipunggung lereng bukit sisi Timur, untuk memeriksa dan menguji set pola regangan U-S yang ditemukan di WP 656 sisi Utara, diharapkan akan terekam dalam penampang (Gambar 7 a).



Gambar 7: Singkapan set sesar di Gn Curu, a) Peta situasi singkapan dan lintasan pengukuran geolistrik memeriksa sesar di WP 656. b) singkapan set sesar minor $N25^{\circ}E/77^{\circ}$ (Kompas menghadap Utara). c) kabel geolistrik melintasi singkapan sesar minor searah lereng. d) sesar KBJ $N175^{\circ}E/80^{\circ}$ di Sungai Opak.

Penampang hasil pengukuran geolistrik di bukit Gn. Curu memperlihatkan sepasang set sesar $N170^{\circ}E$ yang telah dipetakan di atas permukaan (WP 656) konsisten menerus yang terbaca di bawah permukaan (garis merah). Begitu pula sesar $N25^{\circ}E/77$ muncul sebagai sesar minor (garis merah jambu) (Gambar 8 a dan b).



Gambar 8: a) Peta model jaringan sesar hasil rekonstruksi morfotektonik dan pemetaan lapangan. b) Lokasi pengukuran geolistrik di bukit Gn. Curu. c) Penampang geolistrik Barat-Timur.

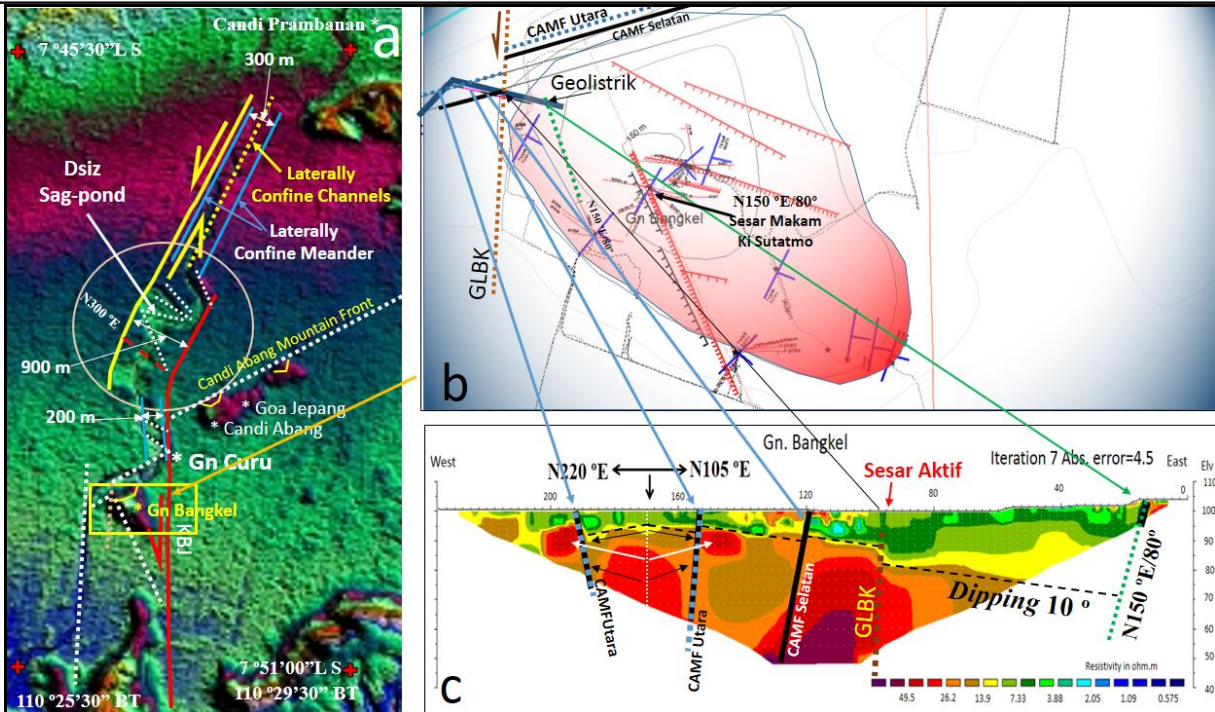
Sesar N244°E /75° yang terbaca pada fitur morfotektonik disebut sebagai Sesar Candi Abang Mountain Front (CAMF), rupanya menerus hingga mencapai muka lereng Bukit Gn. Bangkel. Lintasan pengukuran geolistrik di sini karena bentangan kabel dibatasi oleh Sungai Opak, maka dibelokan semula dari arah N285°E di titik 0 m menjadi N220°E di titik 170 m (Gambar 9b). Sehingga pengukuran ini merekam dua kali salah satu pasangan Sesar CAMF yang terletak di sisi Utara. Dapat diamati terhadap *object* bernilai 50 ohm.m terekam menjadi dua layaknya suatu benda yang berada di depan cermin (Gambar 9 c garis putih putus).

Penampang geolistrik di Gn Bangkel mendukung hasil analisis fitur morfotektonik bahwa CAMF mengalami *offset* oleh Sesar KBJ N175°E/80° di Gn Curu, kemudian menerus ke daerah muka lereng Gn Bangkel tersebut (Gambar 9a).

Kemiringan lapisan seri batuan sebesar 10° dapat dilihat dalam penampang (Gambar 9c garis hitam

putus). Arah kemiringan lapisan ini juga konsisten terhadap perubahan arah penampang, berbelok menurun semu ke arah azimuth N220°E di titik 170 m (Gambar 9c garis putih dan panah hitam).

Struktur sesar aktif dapat terlihat di sepanjang jarak lintasan sekitar mulai dari 95 ke 97.5 m, ditunjukkan oleh garis hijau tegak (7 ohm.m). Sesar ini awalnya ditemukan di penampang geolistrik sehingga dinamai sebagai Sesar Geolistrik Gn Bankel (GLBK), dikenali dari *offset* lapisan 10° oleh sebuah garis yang memberi kesan sebagai sesar naik (Gambar 9c garis putus coklat). Kesan *offset* naik karena arah dipping lapisan ke arah tenggara. Pada penampang bagian blok yang mendekat, akan terlihat kesan naik. Justru secara geometri *offset* tersebut memberi indikasi sesar mendatar *sinistral* yang di atas peta dikombinasi dengan kelurusan pada citra DEMNAS menghasilkan orientasi jurus dan kemiringan N190°E/80°. Sesar paling Timur N150°E/ 80° (garis hijau putus-putus).



Gambar 9: a) Peta model jaringan sesar hasil rekonstruksi fitur morfotektonik berbasis pada data pemetaan lapangan dan pemetaan citra DEMNAS. b) Peta lokasi pengukuran geolistrik di bukit Gn. Bangkel. c) Penampang geolistrik, memperlihatkan sebuah object bentuk silindris berinti kering nilai 50 ohm.m terpisah karena terekam dua kali oleh penampang yang membelok (panah putih). Sesar CAMF sisi Utara juga dilintasi dua kali oleh penampang geolistrik (panah hitam). Garis putih putus putus adalah sumbu vertikal yang terletak di titik 170 m, merupakan lokasi perubahan arah bentangan kabel ke azimuth N105°E dan N220°E. Sesar Geolistrik Bangkel (GLBK) N175°E/80° dikenali melalui penampang geolistrik yang memberi ekspresi sebuah sesar aktif, perhatikan kelurusan garis hijau 7 ohm.m pada kisaran jarak dari 95 sampai 97.5 meter muncul ke permukaan penampang. Sesar ini sejajar dengan Sesar KBJ. Di sisi paling Timur (12.5 m) juga merekam sesar yang berkedudukan N150°E/80° (garis hijau putus putus) merupakan kelanjutan sesar yang dipetakan di lokasi lereng Baratdaya Gn Bangkel, sejajar dengan Sesar makam Ki Sutatmo Suryokusumo N150°E/80° di puncak bukit.

2. Gravitasi

Investigasi anomaly gravitasi bila hanya menggunakan metode berdasarkan *spectrum* yang nilainya ditampilkan oleh *image* di atas peta, baik itu peta ABL, Gravity Residual, Horizontal Gradient (HG) maupun peta Vertical Gradient (VG) akan menghasilkan kesan ambigu. Contoh peta residual gravitasi pada (Gambar 10 b). Kegagalan hasil interpretasi berpotensi terjadi ketika para *interpreter* tidak menggunakan referensi, mereka akan mengalami kebingungan karena terlalu banyak sesar yang harus ditarik di atas *image*, atau terlalu sedikit sesar yang dapat digambar padahal kenyataannya banyak sesar di area target tersebut. Begitu juga fenomena yang dihadapi oleh *interpreter* dalam melakukan analisis, sekalipun beralih menggunakan penampang gravitasi, akan terasa menjengkelkan, karena banyak kesan sesar yang nampak atau tidak ada sesar sama sekali dalam penampang.

Makalah ini menyampaikan hasil investigasi yang menggunakan dua buah penampang terpilih berdasarkan integrasi terhadap model konstruksi jaringan sesar yang telah dibangun atas dasar analisis fitur morfotektonik dan pemetaan struktur di lapangan (Gambar 10a).

Penampang S-T di Utara daerah penelitian (Gambar 10 d), menampilkan kurva Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dan residual yang memperlihatkan bentuk model pola sinyal *large deep Structure* berasosiasi dan diapit oleh dua set sesar dinding samping. Selanjutnya ekspresi lebih detil ditampilkan oleh defleksi kurva VG dan HG.

Model *large deep Structure* berserta anatominya digunakan untuk parameter analisis penampang N-O yang melintasi Meander Kalitirto Selatan sebagai target yang dimaksud, di mana pola *large deep structure* masih diperlihatkan oleh kurva HG dan

VG. Tetapi nilai kurva ABL dan residual merosot tajam di titik 10 km. Kurva gravitasi residual menunjukkan rentang nilai dari 23.4 mGal di posisi 0 Km menjadi 5 mGal di titik 10 Km, begitu pula pada posisi yang sama nilai ABL berkisar dari 113 mGal drop menjadi 90 mGal.

Selanjutnya kurva ABL dan residual tersebut pada penampang N-O kearah Timur menurun landai hingga cenderung datar (*steady state*). Pada sektor ini yang merupakan daerah target penelitian, justru tidak dapat dilakukan pembacaan struktur sesar melalui kurva ABL dan residual. Namun dijumpai kondisi sangat mengembirakan, ketika ternyata secara kontras di sektor ini pula penguatan kurva HG dan VG merefleksikan detail batas Meander Kalitirto dengan defleksi tajam (Panah kuning Gambar 10 e), termasuk mengekspresikan juga kelurusan fitur morfotektonik *Candi Abang Mountain Front* (CAMF)(Gambar 10 e garis merah jambu).

Ternyata dari keseluruhan jaringan sesar yang dilakukan evaluasi sepanjang dua penampang di bawah (Gambar 10 d dan e), menghasilkan pandangan bahwa *master fault* hadir sebagai sesar utama yang memberi ekspresi kuat pada pola *large deep structure* (garis hitam putus dan titik hijau), posisi berada di sisi Baratnya sesar yang selama ini dikenal sebagai Sesar Opak (PPSwf) (Gambar 10 c).

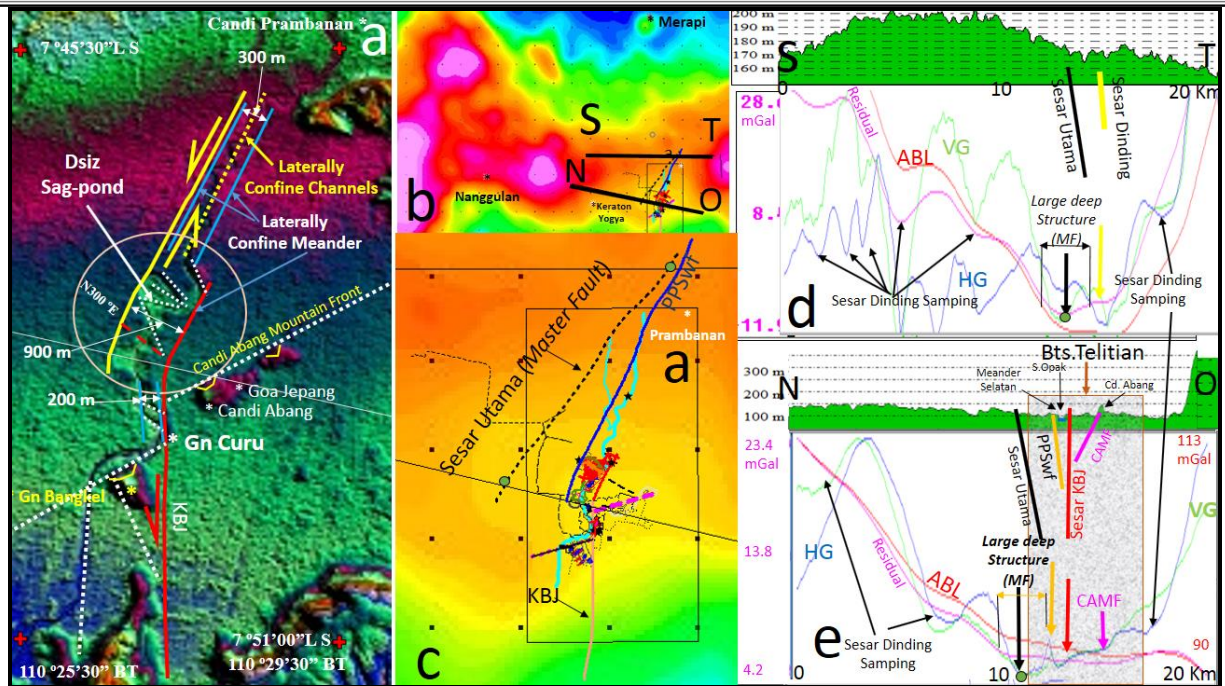
Dengan demikian berarti Sesar Opak tersebut bukanlah *master fault*. Melainkan bagian dari grup jaringan sesar dinding samping yang ikut mengapit sebuah *master fault*. Hal ini diketahui secara relatif posisi PPSwf tidak berada di tengah melainkan menempati posisi grup sesar dinding samping Timur

dan PPSwf adalah salah satu bagian dari grup sesar tersebut.

Sesar CAMF berada di Timur Sesar KBJ pada titik Km 15 (garis merah jambu Gambar 10e), secara semu seolah olah sesar ini bagian dari grup jaringan sesar dinding samping, atau mungkin iya demikian. Dalam kasus ambigu seperti ini, keyakinan meningkat ketika digunakan referensi pandangan lateral dari hasil evaluasi permodelan pemetaan morfotektonik (Gambar 10 a). Atas dasar model yang ditunjukkan oleh peta tersebut bahwa Sesar CAMF memang sesar tersendiri dan bukan bagian dari grup sesar dinding samping.

Sesar yang berada di posisi paling Timur kurang lebih di titik Km 17 atau 2 Km di Timur Sesar CAMF (penampang N-O Gambar 10 e), adalah sesar dinding samping. Sesar ini muncul juga di Utara pada penampang S-T (Gambar 10 d) yang sama sama di kedua penampang itu ditunjukkan oleh defleksi kurva HG. Tetapi Sesar CAMF tidak muncul sepanjang penampang S-T. itu berarti Sesar CAMF memiliki orientasi kinetika di luar dari grup ini.

Posisi struktur penting yang ditampilkan oleh penampang gravitasi menjadi memiliki makna ketika diketahui kerangka model struktur sebagai referensi. Hal ini penting untuk menelusuri terhadap sesar yang tidak muncul kepermukaan. Metoda yang sama dilakukan tindakan intermediasi pada kekar yang diukur di singkapan yang dekat dengan Meander Kalitirto.



Gambar 10: Investigasi geofisika melalui data anomaly gravitasi. a) Peta model jaringan sesar hasil pemetaan morfotektonik dan pemetaan struktur di lapangan sebagai referensi. b) Peta residual gravitasi. c) Batas daerah penelitian di atas peta residual gravitasi. d) Penampang S-T melintasi sedikit di Utara daerah penelitian untuk mendapat model yang ideal. e) Penampang N-O melintasi Meander Kalitirto Selatan.

ANALISIS DAN HASIL

Jaringan sesar yang menyebabkan pembentukan Meander Kalitirto Berbah untuk memiliki ukuran dan bentuk yang unik, adalah karena pengaruh dari interaksi dua sesar ketika mereka bergerak satu sama lainnya (PPSwf dan KBJ). Di mana kedua sesar tersebut memiliki koneksitas kinetik. Meander Kalitirto terbentuk di dalam zona interaksi sebagai strain yang dihasilkan oleh pergerakan kedua sesar PPSwf dan KBJ.

Hubungan Geometri

Sesar PPSwf secara fisik tidak menyentuh sesar KBJ, mereka saling berpapasan di ujung Utara Sesar KBJ (garis merah) dan di ujung Baratdaya Sesar PPSwf (garis kuning). Berdasarkan karakteristik interaksi kedua sesar tersebut dikatakan tidak memiliki koneksitas geometris. Susunan *spatial* demikian menentukan peluang terjadinya regangan pada zona interaksi dengan lebar sekitar 900 m. Biasanya zona regangan seperti itu dalam terminology tektonik dikenal sebagai *pull aparts basin*, selanjutnya sinonim istilah ini dalam terminology morfotektonik disebut *sag-pond* (Gambar 11).

Hubungan Kinetik

Analisis stereoplot menggunakan data orientasi dari perwakilan kekar N150°E/67° yang diambil di sekitar singkapan di bawah jembatan Lava Bantal Berbah dan di singkapan bekas tambang galian batu di Selatannya sejauh 170 m, mendapat nilai orientasi kedudukan N140°E/65°. Kedua kekar tersebut diintegrasikan dengan Sesar KBJ N175°E/80°. Ternyata mereka bertemu dalam satu sumbu *intersection* (σ_2) dengan plunge 62°, N201°E dan sumbu *maximum* σ_1 plunge 28°, N349°E (Gambar 11). Ketiga bidang kekar yang bertemu dalam satu Sumbu *intersection* σ_2 yang sama, menunjukkan mereka memiliki koneksitas kinetik walaupun tidak memiliki koneksitas geometri.

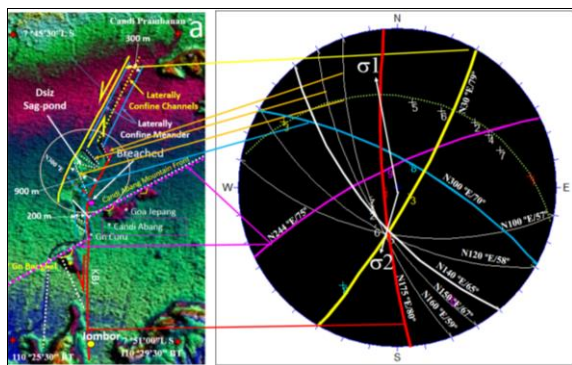
Sesar PPSwf pada orientasi *azimuth* N30°E atas dasar fitur morfotektonik dipertimbangkan juga mempunyai hubungan kinetik yang sama. Bila *azimuth* tersebut merupakan jurus dari sebuah bidang sesar yang melalui sumbu *intersection* (σ_2), maka kedudukan sesar menjadi N30°E/79°. Di mana, nilai kedudukan tersebut membentuk sudut dehidral sebesar 74° terhadap pola kekar N140°E/64° dan sebesar 64° terhadap pola kekar N150°E/67°. Berarti kedua pola kekar itu membentuk pola berkarakteristik *antithetic structure* pasangan dengan

Sesar PPSwf yang dikenal sebagai Sesar Opak, di mana secara kinetik kekar kekar itu jika harus berkembang menjadi sesar, mereka akan bergerak secara *dextral* (menganan).

Batas garis perubahan orientasi kompleks Meander Kalitirto Utara dan Meander Kalitirto Selatan adalah sesar yang berorientasi kedudukan N300°E/70°. Sesar ini memiliki hubungan geometri akan tetapi tidak memiliki koneksitas kinetik. Sumber air yang mengandung sulfida di lokasi pengamatan Wtr 10 nampaknya mengalir melalui jalur sesar N300°E/70°.

Begitu juga Sesar *Candi Abang Mountain Front* memiliki kedudukan N244°E/75° tidak memiliki koneksitas kinetik, walaupun secara fisik menyentuh Sesar KBJ (Gambar 11a).

Displacement sinistral slipe sense Sesar KBJ yang merupakan sesar mendatar mengiri didukung oleh susunan *step over fault* baik yang ada di kalitirto maupun sisi Barat Gn Curu atau seberang Timur Sungai Opak di Embung Tegaltirto. Diperkuat lagi oleh *offset CAMF* di Gn Curu.



Gambar 11: a) Peta model jaringan sesar hasil pemetaan morfotektonik dan pemetaan struktur di lapangan. b) stereonet analisis kinetika dan hubungannya. Sesar batas mender Utara dan Selatan N300°E/70° (biru) dan Sesar CAMF N244°E/75° (merah jambu), keduanya tidak dalam hubungan kinetika yang sama.

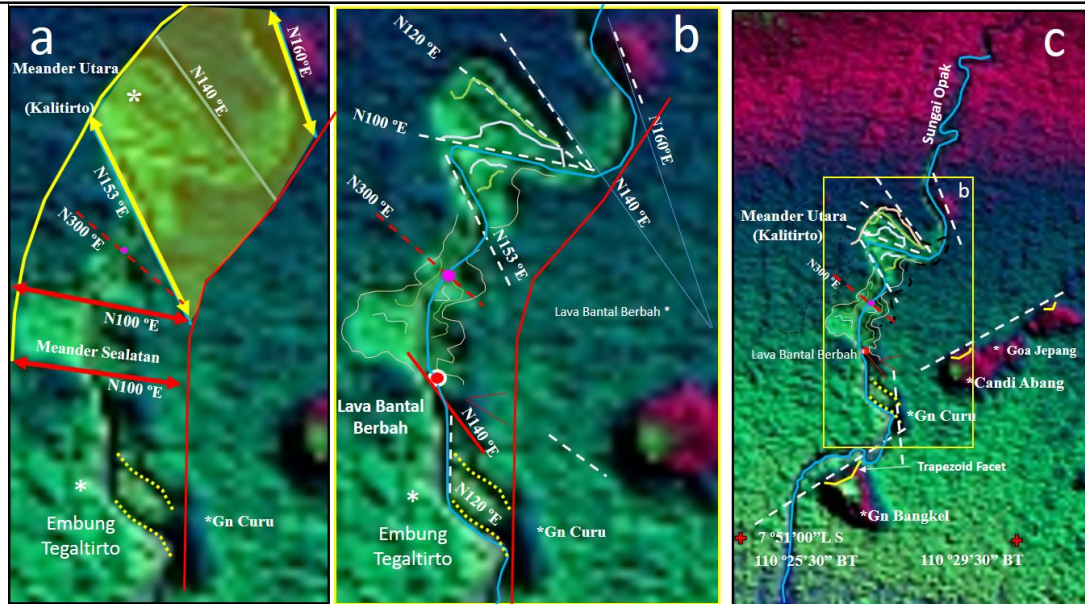
Strain Pergeseran di Zona Interaksi

Set sesar *antithetic* yang berada di dalam sag-pond merupakan karakter sesar hasil *displacement strain within interaction zone* (Dsiz) dari interaksi Sesar PPSwf dan KBJ. Sesungguhnya sesar ini awalnya didesak oleh stress maximum (σ_1) yang berorientasi arah dengan plunge 28°, N349°E dan sesar seharusnya bergerak tegak lurus terhadap sumbu *intermediate*

yakni garis *intersection* (σ_2). Namun set sesar yang berada di sag-pond tersebut bersifat pasif hanya bergerak menyesuaikan ketika Sesar PPSwf dan KBJ masing masing bergerak. Permutasi tegasan terjadi ke arah vertikal, kemudian gerak set sesar menjadi sesar turun, karena adanya peristiwa regangan yang disebabkan oleh pergerakan sesar PPSwf dan KBJ. Karakter pergerakan sesar ini tidak berlaku dengan pola orientasi sesar yang sama, namun terletak di luar daerah Dsiz, seperti halnya kekar yang terukur di lokasi lava bantal dan tambang batu.

Sesar *subsidiary* memainkan peran sangat krusial di dalam zona interaksi regangan, umunya pada penampang vertikal dapat memperlihatkan *strain* berupa *fault growth*. Sesar tumbuh bergerak bersamaan dengan peristiwa akomodasi sedimen, sehingga dapat memberikan ekspresi tiba tiba mengenai perubahan ketebalan sedimen dalam suatu cekungan. Begitu pula pada pandangan lateral di atas peta. Peristiwa tersebut juga dapat dianalogikan terhadap proses perkembangan sesar tumbuh yang melibatkan perjalanan deposisi Meander Kalitirto sepanjang kurun waktu pembentukannya. Penampilan hasil proses respon yang menggambarkan pola bentuk, ukuran meander dan orientasi teras sungai yang aneh sebagaimana ditunjukkan pada (Gambar 12 a).

Perkembangan sedimen di meander Utara dibatasi *straining* yang dikontrol oleh pergeseran umum dari set pola sesar *synthetic* TL-BD (N30°E) yang selama ini dikenal sebagai Sesar Opak. Strain pergeseran ditempati oleh perkembangan Meander Kalitirto di dalam koridor lebar 900 m, yang dibatasi oleh set set sesar regangan *antithetic*- nya dengan tipe orientasi N153°E dan N160°E (panah kuning). Sedangkan meander Selatan memiliki orientasi bentuk dari kombinasi batas set sesar *antithetic* regang dengan tren orientasi N100°E (Gambar 12 a panah merah). Fenomena interaksi sesar dapat dijumpai juga ke arah Selatan 300 m di sisi bagian Barat Gn Curu atau terletak di seberang Timur Sungai Opak dari Embung Tegaltirto (Gambar 12 b garis putus kuning). Struktur ini menunjukkan bukti berkembangnya set sesar *antithetic* dengan orientasi N120°E untuk mengarahkan petunjuk bahwa pergerakan sesar KBJ adalah mengiri (*sinistral*). Karakteristik ini memungkinkan pembentukan *Sag-pond* Kalitirto meluas hingga di ujung Selatan. Struktur sesar di daerah tersebut juga dapat dikatakan *displacement strain within interaction zone* (Dsiz) dari sebuah ujung Sesar KBJ, tapi sekarang belum terbentuk *straining* meander dan sedang menuju proses pembangunan (Gambar 12b).



Gambar 12: a) Peta menunjukkan Meander Utara dan Selatan dipisah oleh sesar N300°E/70° mengeluarkan sumber air sulfide di Sungai Opak (titik merah jambu). b) Garis putus putus kuning di Selatan adalah posisi calon perluasan sag-pond.

DISKUSI

Perkembangan Meander Kalitirto Utara memberi ekspresi fisik sangat baik mengenai orientasi pertumbuhannya dalam menyusun teras 1, 2 dan 3, fitur fitur ini dapat dipetakan di atas citra DEMNAS. Tetapi di sini, nampaknya aktifitas aliran Sungai Opak sepanjang kurun waktu pembentukan Meander Kalitirto tidak pernah tuntas menyelesaikan proses pembangunan satu pasangan paket, yang terdiri dari dua susunan fitur proses antara set erosional dan set deposisional material sungai. Hal ini ditunjukkan oleh tidak konsistennya ukuran meander yang seolah olah berada pada rejim stadium sungai tua. Namun bentuk fisik meander prematur jika dilihat dari bentuk *outer bend* akhir sebagai batas erosional.

Batas *outer bend* cenderung lurus hanya sedikit melengkung oval sedangkan bagian sisi deposisional memberi ekspresi *inner bend* akhir berbentuk V tegas dengan orientasi azimuth N100°E dan N153°E terbuka menghadap Ds Jogotirto. Di sini tidak pernah terjadi bentuk danau tapal kuda sebagai indikator usia dan proses akhir fase pembentukan meander, karena selalu terganggu secara periodik oleh pergerakan sesar aktif yang melibatkan batuan dasarnya (Gambar 13b).

Batuan fondasi yang mendasari endapan teras Sungai Opak di Kalitirto ini mengalami sistem set sesar yang berkembang rotasional berlawanan arah jarum jam. Secara bertahap dari fase awal pensesaran dimulai

dengan orientasi sesar pada azimuth N160°E di lokasi 1Ln1. Kemudian pensesaran arah azimuth N140°E membentuk teras 1, orientasi N120°E membentuk teras 2 dan terakhir N100°E membentuk teras 3.

Perputaran arah orientasi sesar berlawanan arah jarum jam dari masing masing fase sebesar 20°, memberi indikasi bahwa sesar induk (PPSwf dan KBJ) bergerak sinistral paling tidak sudah mengalami tiga fase denyut deformasi. Selanjutnya, jika dihitung sejak sebelum dan sesudah pembentukan Meander Kalitirto menjadi 5 fase denyut deformasi.

Perbedaan arah orientasi dan bentuk meander, antara Meander Kalitirto Utara dan Meander Kalitirto Selatan, disebabkan oleh perubahan arah orientasi Sesar KBJ pada lokasi *breached point* (titik biru Gambar 13 b). Disini merupakan titik regangan terjadi pada pembentukan sesar orientasi N300°E/70°, indikasi di lapangan keluarnya sumber air sulfida hangat (titik merah jambu dan garis biru Gambar 13 b).

Beberapa aspek geometri dari fitur Meander Kalitirto Utara yakni; azimuth orientasi, dimensi ukuran dan bentuk cekung negatif, mirip dengan batas fisik Gn Bangkel, tetapi Gn Bangkel memberi ekspresi berbentuk geometri positif berupa bukit. Hal ini disebabkan oleh pola dan interaksi set struktur *subsidiary* yang berkembang di kedua fitur tersebut relatif sama, namun memiliki distribusi letak berlainan.

Pertemuan sesar *antithetic* dengan Sesar KBJ merupakan *abutting lines*, di mana selama interaksi sesar tidak terjadi isu kompresional sebagai kompensasi volume dari dampak problem *spatial* yang terbatas. Penyebabnya adalah karena sistem set sesar *antithetic* bergerak turun searah dengan *abutting line* akibat meregang ketika KBJ bergerak sinistral berpasangan dengan PPSwf.

Sesar Aktif Kalitirto Gn. Bangkel Jombor (KBJ) berpasangan dengan PPSwf dan berinteraksi satu dengan lainnya. Tingkat derajat interaksi dicerminkan oleh bentuk geometri, orientasi dan ukuran Meander Kalitirto Utara dan Selatan. Mereka bertindak sebagai manifestasi jejak strain pergeseran yang ditinggalkan oleh Sesar KBJ dan PPSwf tersebut. Proses pembangunan meander berlangsung sampai saat ini (Resen), memberi indikator aktifnya Sesar PPSwf dan KBJ. Ukuran meander Selatan lebih kecil, menunjukan derajat interaksi berangsur berkurang kearah Selatan menuju struktur N120°E yang terletak lebih ke Selatan lagi di antara Embung Tegaltirto dan Gn. Curu (hilang pengaruh PPSwf). Fakta ini menunjukan sesar aktif di Yogyakarta tidak hanya membentang di sepanjang Sesar Opak (PPSwf), tetapi tersusun dalam bentuk jaringan yang dapat ditelusuri.

Penggunaan metoda geofisika seperti geolistrik dan gravitasi tidak memberikan manfaat, ketika peta dasar geologi yang menggambarkan model jaringan set sesar tidak digunakan. Analisis sesar aktif bila tanpa informasi geologi justru akan berpotensi memberi pandangan yang membingungkan karena bersifat ambigu. Sebaliknya jika penelitian terintegrasi menggunakan metode geofisika yang didasari oleh acuan informasi geologi, akan memberi manfaat yang besar dalam meningkatkan derajat akurasi informasi.

Teknik evaluasi menggunakan analisis integrasi set data, ketika data sesar penting tidak muncul dipermukaan sama sekali. Pandangan tentang large deep structure yang merupakan master fault bertindak sebagai sesar utama yang terletak di sebelah Barat Sesar Opak. Struktur ini tidak muncul dipermukaan, tetapi diperlihatkan oleh set data spektrum kurva gravitasi. Informasi keberadaan master fault di sana menjadi lebih kuat derajat kepastiannya, selama set data spektrum struktur tersebut juga menunjukan

berasosiasi dengan struktur Sesar KBJ yang telah dipetakan di atas permukaan. Di mana keberadaan Sesar KBJ yang sudah jelas keberadaan datanya di permukaan bisa bertindak sebagai bench mark dalam intermediasi proses analisis.

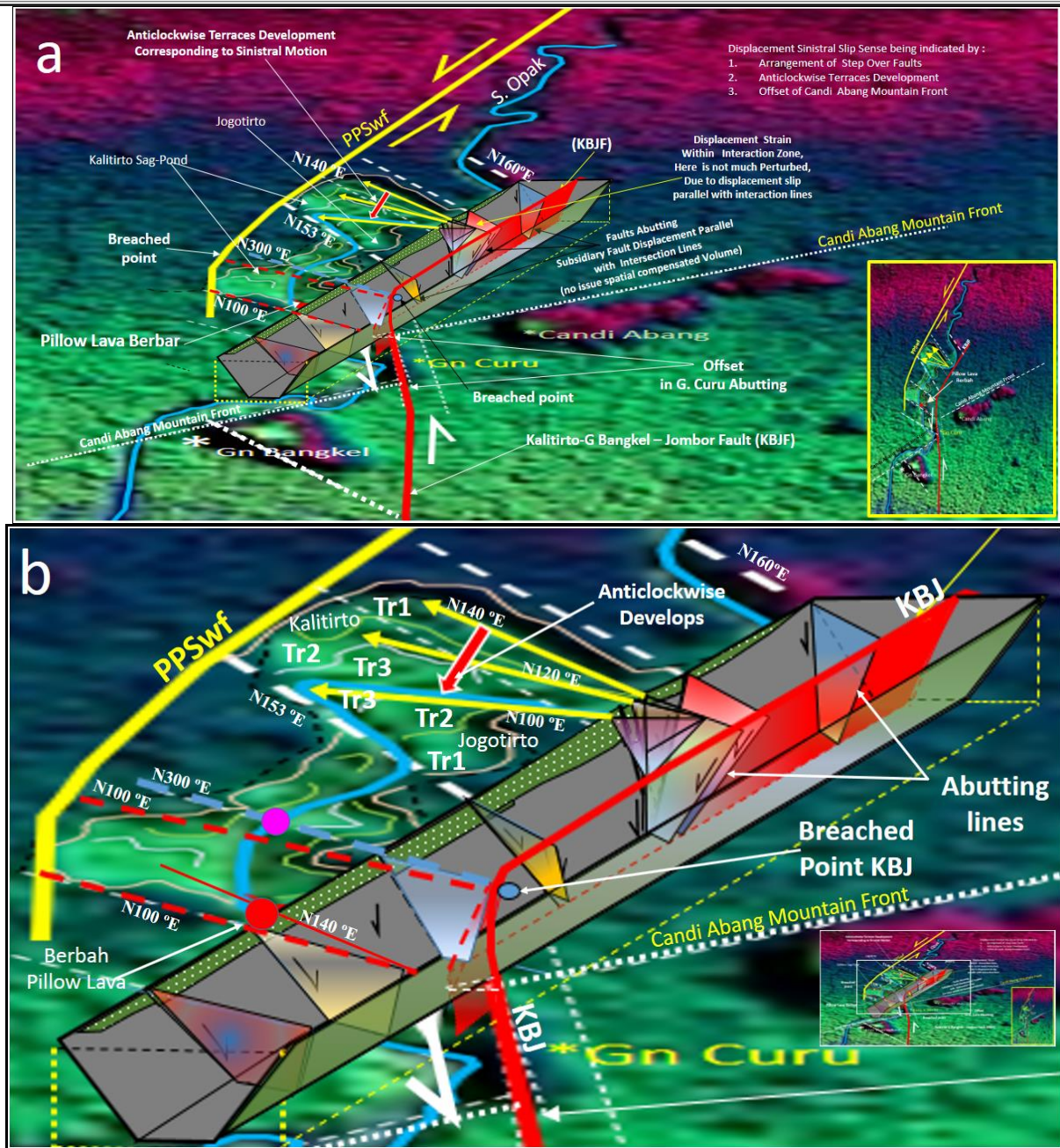
Fakta kehadiran Sesar KBJ dalam penampang gravitasi yang diekspresikan oleh data defleksi sinyal bersamaan dan berdampingan dengan data defleksi sinyal master fault itulah yang membuat meningkatnya keyakinan existensi master fault. Tanpa kehadiran KBJ dalam kasus ini dapat menurunkan level bobot nilai informasi tentang keberadaan master fault dari derajat yakin menjadi spekulatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian dan pemetaan secara detil seperti membuat paritan untuk mengambil sampel dalam mengukur waktu kejadian termasuk siklus kejadian gempabumi agar dapat dihitung. Penelitian tersebut penting untuk dasar pembuatan peta sesar aktif sebagai bahan dalam perencanaan penataan ruang, sebagaimana tanggung jawab pemerintah berdasarkan amanat undang undang nomor 24 dan 27 tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana dan tentang Penataan Ruang. Di mana keberadaan sesar aktif dapat merupakan lokasi episentrum gempabumi.

Sesar aktif sepanjang Sesar KBJ memiliki orientasi azimuth menyimpang terhadap arah TL-BD menjadi kearah U-S yang membentang dari Desa Kalitirto sampai Ds Jombor Piyungan. Berarti system sesar aktif ini tidak berdiri sendiri dalam satu bentangan. Bentuk akhir Meander Kalitirto sebagai cermin hasil evolusi bentang alam dalam proses sedemikian rupa saling mengontrol antara pergeseran sesar aktif dan sistem sedimentasi sungai.

Jejak jejak rekahan gempa yang lampau patut ditelusuri kembali, untuk mencari asosiasinya terhadap rekahan purba yang berhubungan dengan kejadian gempabumi dan dapat memberi informasi tentang waktu kejadian. Parameter morfotektonik sangat ampuh untuk melakukan pemetaan detil dalam konsumsi waktu relatif efisien. Tindakan analisis morfotektonik hendaknya menggunakan empat kaidah parameter geomorfologi Keller dan Printer (1996).



Gambar 13: Menampilkan perspektif dari ilustrasi paritan untuk melihat hubungan interaksi sesar dan komponen orientasinya. a) Pandangan perspektif model jaringan sesar di seluruh daerah penelitian. b) Prespektif sepanjang ilustrasi puritan untuk melihat hubungan interaksi sesar di dalam extensional quadran (sag-pond).

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Geologi. Asep Kurniawan ST. M.Sc (Kepala Bagian Geosain). Ir. Sinung Baskoro. MT (Kepala Bagian Pemetaan Geologi). Ervan Bayu Setianto. ST atas diskusi dan memberikan tabel data gravitasi (ABL) dan Ir. Asdani Soehaemi. Dipl. Seis. Diskusi tentang seismotektonik. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG). Atas diskusi tentang distribusi jaringan kontrol geodetik dan geodinamik dengan Dr. Antonius Bambang Wijanarto (Kepala Pusat Jaringan Kontrol Geodetik dan Geodinamik) dan Angga Meidia Pratama. Si (Staf Pemetaan dan manajemen data) atas pelayanan informasi berhubungan dengan *Digital Elevation Model* (DEM-NAS). Ucapan terima kasih juga di sampaikan kepada Ardian Novianto. ST. MT dan Indriati Retno Palupi. Si. Msi (Dosen Teknik Geofisika UPN "Veteran" Yogyakarta) atas diskusi dan sarana penggunaan proses direktiv gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahlgren, S. G. (2018). The Nucleation and Evaluation of Riedel Shear Zones as Deformation Bands in Porous Sandstone. Master of Science in The Graduate College, Department of geosciences, The University of Arizona, 1999. USA
- Allmendinger. R.W. (1989). Notes on Fault Slip Analysis. Department of Geological Sciences Cornell University Ithaca, New York 14853-1504.
- Laake. A. (2011). Integrate of Satellite Imagery Geology and Geophysical Data, Earth and Environmental Sciences, Dr. Imran Ahmed Dar (Ed.), ISBN 978-953-307-468-90.
- Peacock. D.C.P, Nixon. C.W, Rotevatn. A, Sanderson. D.J. (2018). Interacting faults. *Journal of Structural Geology*, 1-25.
- Prasetyadi, Subandrio. A., Setiawan. J., Ibadurrahman. H. (2016). Surficial Feature Of Opak Zone. *Proceeding Jogja Earthquake in Reflection*
- Rahardjo.W., Sukendarrumidi and Rosidi. H M D. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta* (Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi).
- Saraha.D., and Soebowo. E. (2006). *Liquefaction Due to the 2006 Yogyakarta Earthquake Research Centre for Geotechnology*, (LIPI), Bandung 40135 Indonesia
- [09] Denny Hilman Natawidjaja 2016 *Sumber Gempa Yogya GEOMAGAZN VOL.6 NO.2*
- Supartoyo. (2006). Gempabumi Yogyakarta Tanggal 27 Mei 2006. *Bulletin Berkala Merapi*, 3(2), Edisi Agustus 2006, BPPTK, 36 – 55
- Supartoyo, Surono dan Putranto E T. (2014). *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia*.
- Supartoyo, Hidayati. S., and Subandriyo. (2016) MORPHOTECTONIC ANALYSIS TO IDENTIFY OPAK FAULT (PRELIMINARY RESULT) Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation, Geological Agency of Indonesia.
- Sutiono. A., Prastistho. B., Prasetyadi., and Supartoyo. (2018). Opak fault: a comparative review. *ICEMINE IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* **212** (2018) 012049 IOP Publishing
- Tsuji1. T., Yamamoto.K., Matsuoka.T., Yamada.Y., Onishi. K., Bahar.K., Meilano.I., Abidin.H.Z. (2009). Earthquake fault of the 26 May 2006 Yogyakarta earthquake observed by SAR interferometry, Online published August 7, 2009.
- WATKINSON.I. & HALL, R. (2017). Fault systems of the eastern Indonesian triple junction: evaluation of Quaternary activity and implications for seismic hazards. SE Asia Research Group, Department of Earth Sciences, Royal Holloway University of London, Egham, Surrey TW20 0EX, UK <http://sp.lyellcollection.org/> at Royal Holloway, University of London on May1,2017.
- Widijono B.S. and Setyanta. B. (2007). *Anomali Gaya Berat, Kegempaan Ser Kelurusan Geologi Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya* Pusat Survey Geologi JSDG vol XVI.
- Widagdo. A, Pramumijoyo. S, Harijoko. A. (2019). Pengaruh Tektonik Kompresional Barat laut Tenggara Terhadap Struktur Bidang Perlapisan, Kekar, Sesar dan Lipatan di Kulonprogo - Yogyakarta. *Jurnal GEOSAPTA*, 5(2), 81-91.