



ORASI ILMIAH

Prof. Dr. Ir. Aris Buntoro, M.T.

Sumbangan Penelitian Geomekanik dan Mineralogi dalam Memahami Karakter Serpih (*Shale*) terkait dengan *Borehole Instability* dan Pengembangan *Shale Hydrocarbon* (Migas Non-Konvensional)

Juli 2023





Sumbangan Penelitian Geomekanik dan Mineralogi dalam Memahami Karakter Serpih (*Shale*) terkait dengan *Borehole Instability* dan Pengembangan *Shale Hydrocarbon* (Migas Non-Konvensional)

Orasi Ilmiah dalam rangka Pengukuhan Guru Besar

Prof. Dr. Ir. Aris Buntoro, M.T.

Guru Besar dalam Bidang Ilmu Teknik Pemboran

Jurusan Teknik Perminyakan

Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Pendahuluan

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Salam Sejahtera bagi kita semua.

Yang saya hormati dan muliakan:

Ketua beserta Anggota Senat, Rektor dan Para Wakil Rektor, Para Dekan, Para Ketua Lembaga, Para Kajur, dan Koordinator Prodi Teknik Perminyakan, Para Pimpinan di Lingkungan Fakultas Teknologi Mineral, beserta Ketua Ikatan Alumni Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Para Dosen dan tamu undangan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, serta semua yang mengikuti acara ini melalui *daring*.

Pertama-tama dan yang paling utama, marilah kita memanjatkan Puji Syukur kehadiran **Allah SWT** atas segala nikmat dan karunia, dan juga kesehatan, sehingga kita dapat berada dalam majelis yang mulia ini.

Dalam Majelis Sidang Terbuka Senat UPN “Veteran” Yogyakarta yang sangat mulia ini, saya memberanikan diri untuk menyampaikan orasi ilmiah tentang bagaimana penelitian **geomekanik** dan **mineralogi** dapat memberikan sumbangan terhadap pemahaman karakter batuan serpih (*shale*) terkait dengan ***borehole instability*** dan pengembangan ***shale hydrocarbon*** (Migas Non-Konvensional).

Selanjutnya sebelum saya memaparkan orasi ilmiah, saya akan meyampaikan terlebih dahulu tentang perjalanan pendidikan saya dari S1 sampai S3. Saya lulus pendidikan S1 dan S2 dari Teknik Perminyakan dengan bidang keahlian Teknik Pemboran (*Drilling Engineering*),



sedangkan pendidikan S3 lulus dari Teknik Geologi dengan bidang keahlian Geosains (*Geosience*), sehingga keterkaitan bidang ilmu karya ilmiah sebelum S3, karya ilmiah dan bidang ilmu penugasan “**serumpun**” dengan Pendidikan S3 (PO PAK Dikti, 2019).

Sebagai awal pemaparan tema tersebut saya akan mulai dari 2 pertanyaan, sebagai berikut:

1. Apakah pengertian dari “**geomekanik**”, “**mineralogi**”, dan “serpih (*shale*)”?
2. Bagaimana aplikasi “**geomekanik**” dan “**mineralogi**” dalam “*borehole instability*” dan “pengembangan *shale hydrocarbon*”?

Pengertian “Geomekanik”, “Mineralogi”, dan “Serpih (Shale)”

Geomekanik adalah bagian dari ilmu mekanika yang mempelajari tentang kerak bumi (*crust*) dan proses yang berkembang di dalamnya. Geomekanik adalah teori dan ilmu terapan dari perilaku mekanis material geologis (*crust*). Hal ini digunakan untuk mengurangi risiko dan mengoptimalkan hasil yang berkaitan dengan kegagalan mekanis (*mechanical failure*) pada formasi batuan akibat dari aktivitas eksplorasi dan produksi migas.

Secara keilmuan, geomekanik mempelajari lebih mendalam mengenai mekanika batuan, yang digunakan dalam analisis geomekanik yang tidak terbatas pada pemboran sumur migas (*wellbore stability*), tetapi juga untuk *hydraulic fracturing*, dan *water/gas flooding*. Formasi batuan akan “fail” ketika mendapatkan *stress* yang melebihi kekuatannya. Peranan geomekanik adalah untuk memprediksi kapan “*failure*” akan terjadi, menilai risiko dan peluangnya, dan merekomendasikan rencana mitigasi. Setiap penilaian geomekanis terhadap formasi / reservoir dimulai dengan mengkarakterisasi profil *stress*, *strength* dan tekanan pori. Oleh karena itu, pemahaman sejarah geologi dari formasi batuan target menjadi sangat penting untuk mengkarakterisasi geomekanik yang andal (*reliable*).

Sebagian besar batuan diklasifikasikan sebagai material rapuh (*brittle*), karena material dapat hancur jika diberi suatu beban yang melebihi daya tahan material tersebut. Penghancuran suatu batuan tidak melalui tahap plastis (*plastic flow*) seperti halnya pada material *ductile*. Dengan kata lain, dengan pemberian suatu gaya, maka batuan akan berubah bentuk secara elastis dan kemudian akan hancur tanpa melalui perubahan bentuk secara plastis (*plastic flow*).

Sifat batuan yang cukup penting adalah hubungan *brittleness* relatif batuan terhadap tegangan (*tension*). Dalam kenyataannya, kuat tekan (*compressive strength*) batuan dapat menjadi dua kali lipat dari kuat tarik (*tensile strength*) batuan tersebut. Sifat batuan seperti ini akan sangat berguna untuk pelaksanaan *hydraulic fracturing*. Pada dasarnya *hydraulic fracturing* meliputi kekuatan penghancuran dinding lubang bor, yaitu kemampuan untuk menghancurkan dinding batuan reservoir.

Mineralogi adalah salah satu cabang ilmu geologi yang mempelajari mengenai mineral, baik dalam bentuk individu maupun dalam bentuk kesatuan, antara lain mempelajari tentang sifat-sifat fisik, sifat-sifat kimia, cara terdapatnya, cara terjadinya dan kegunaannya.



Mineral adalah zat-zat hablur yang ada dalam kerak bumi (*crust*) serta bersifat homogen, fisik maupun kimiawi. Mineral itu merupakan persenyawaan anorganik asli, serta mempunyai susunan kimia yang tetap. Yang dimaksud dengan persenyawaan kimia asli adalah bahwa mineral itu harus terbentuk dalam alam, karena banyak zat-zat yang mempunyai sifat-sifat yang sama dengan mineral, dapat dibuat didalam laboratorium. Sebuah zat yang banyak sekali terdapat dalam bumi adalah SiO_2 dan dalam ilmu mineralogi, dimana mineral ini disebut kuarsa. Sebaliknya zat inipun dapat dibuat secara kimia, akan tetapi dalam hal ini tidak disebut mineral melainkan zat Silisium dioksida. Mineral-mineral mempunyai struktur atom yang tetap dan berada dalam hubungan yang harmoni dengan bentuk luarnya. Mineral-mineral inilah yang merupakan bagian penyusun dari batuan, atau dengan kata lain batuan adalah asosiasi mineral-mineral.

Analisis mineralogi dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasikan jenis mineral yang terkandung dalam setiap sampel batuan, menggunakan metode analisis *bulk*. Dalam analisis *bulk* penembakan dilakukan dengan *shooting angles* 3° hingga 90° . Setelah mendapatkan hasil *shooting* atau *running* sampel menggunakan alat XRD, hasil analisis disajikan dalam bentuk puncak (*peak*) dari grafik pembacaan XRD dan jenis mineral yang ada dalam sampel dapat ditentukan berdasarkan pada penentu puncak (Bladh et al., 2001).

Shale (serpih) merupakan batuan sedimen yang terdiri dari komposisi butiran berukuran lempung dan lanau dengan karakteristik laminasi planar (Potter, 1981). *Shale* disebut juga batu lanau atau argilit. *Shale* didefinisikan sebagai jenis batuan sedimen yang tersusun dari mineral utama berukuran halus atau lempung, yaitu berupa *illite*, *smectite* dan *kaolinite*, serta mineral dengan butiran berat seperti oksida besi, kuarsa, karbonat, mineral sulfida, feldspar dan bahan organik lainnya. Komposisi mineral-mineral tersebut tergantung pada lingkungan tempat terjadinya proses sedimentasi atau pengendapan.

Secara umum, *shale* merupakan kombinasi dari beberapa mineral diantaranya: *clay*, silika (kuarsa), karbonat (kalsit atau dolomit) dan mineral organik. Mineral pembentuk batuan *shale* memiliki tingkat kekerasan relatif yang berbeda-beda. Sebagian besar batuan *shale* mengandung kerogen yang tersusun dari senyawa organik, yang berpotensi sebagai batuan induk (*source rock*).

Menurut Blatt (1970), *shale* merupakan batuan yang membentuk sekitar 69 persen dari jumlah total batuan sedimen di lapisan kulit bumi (*crust*). Meskipun keberadaannya di kerak bumi sangat banyak, tetapi *shale* kurang dieksplorasi seperti batupasir atau batugamping. Hal tersebut karena *shale* mempunyai komposisi yang rumit, bertekstur sangat halus dan sulit diamati di bawah mikroskop, sehingga mineral penyusunnya tidak mudah dipahami seperti batuan sedimen lainnya. Pengamatan material penyusun *shale* harus dilakukan menggunakan teknik penelitian khusus dengan *X-Ray Diffraction* (XRD).



Aplikasi Geomekanik dan Mineralogi dalam “*borehole instability*” dan “pengembangan *shale hydrocarbon*”?

Borehole Instability

Ketidakstabilan lubang bor (*borehole instability*) adalah kondisi yang tidak diinginkan dari interval lubang terbuka, karena tidak dapat mempertahankan ukuran dan bentuk pengukurnya dan/atau integritas strukturalnya. Prinsip ketidakstabilan lubang bor adalah sebelum pemboran, kekuatan batuan pada kedalaman tertentu berada dalam kesetimbangan dengan tegangan *in-situ* (*effective overburden stress, effective horizontal confining stresses*). Tetapi pada saat lubang sedang dibor, keseimbangan antara kekuatan batuan dan tegangan *in-situ* terganggu. Selain itu, cairan asing (lumpur pemboran) yang dimasukkan akan terjadi interaksi dengan formasi batuan pada lubang bor, dan berpotensi menyebabkan masalah ketidakstabilan lubang. Meskipun sejumlah besar penelitian telah menghasilkan banyak model simulasi stabilitas lubang bor, semuanya memiliki kekurangan (ketidakpastian) yang sama dalam input data yang diperlukan untuk melakukan analisis. Data tersebut meliputi: *in-situ stresses, pore pressure, rock mechanical properties, formation and drilling-fluids chemistry*.

Penyebabnya ketidakstabilan lubang bor dapat dikelompokkan ke dalam kategori berikut:

- Penyempitan lubang bor (*Hole closure or narrowing*)
- Pembesaran lubang bor (*Hole enlargement or washouts*)
- Rekah (*Fracturing*)
- Runtuh (*Collapse*)

Shale merupakan sebagian besar formasi yang dibor, dan menyebabkan sebagian besar masalah ketidakstabilan lubang sumur, mulai dari pengikisan lubang bor (*washout*) hingga keruntuhan total lubang bor (*complete collapse of the hole*).

Shale adalah batuan sedimen berbutir halus yang terdiri dari lempung, lanau, dan dalam beberapa kasus berupa pasir halus. Jenis serpih berkisar dari gumbo yang kaya lempung (*relatively weak*) hingga batulanau serpih (*highly cemented*), dan memiliki kesamaan karakteristik permeabilitas yang sangat rendah dan proporsi mineral lempung yang tinggi. Lebih dari 75% formasi yang dibor di seluruh dunia adalah formasi *shale*. Biaya pemboran yang dikaitkan dengan masalah ketidakstabilan *shale* (*shale problems*) dilaporkan melebihi satu setengah miliar dolar AS per tahun (Society of Petroleum Engineers, 2015). Penyebab ketidakstabilan *shale* ada dua, yaitu: **mekanis** (*stress change vs. shale strength environment*) dan **kimiawi** (*shale/fluid interaction, capillary pressure, osmotic pressure, pressure diffusion, borehole-fluid invasion into shale*).

Masalah ketidakstabilan lubang sumur (*borehole instability*) secara signifikan meningkatkan *Non-Productive Time* (NPT) dan meningkatkan biaya operasi pemboran di industri migas. Permasalahan tersebut dapat terjadi dalam berbagai bentuk antara lain pipa terjepit (*pipe stuck*) dan pembesaran lubang (*hole enlargement*).



Aplikasi geomekanik pada ketidakstabilan lubang sumur terkait dengan aspek **mekanis** adalah untuk menentukan berat lumpur optimum yang digunakan untuk menjaga kestabilan lubang bor (*borehole stability*), dimana stabilitas lubang sumur tersebut tergantung pada tekanan di sekitar lubang sumur dan arah lintasan lubang sumur (Zoback, 2007).

Aplikasi geomekanik meliputi perekahan hidrolik (*hydraulic fracturing*), *completion instability*, dimana jenis penyelesaian tetap dapat eksis selama sumur memproduksi. Pada saat sumur memproduksi, maka tekanan pori akan berkurang, sehingga tegangan efektif akan naik, dan akan mempengaruhi kestabilan lubang sumur (Beni & Zimmerman, 2018).

Pemodelan geomekanik dimulai dengan data *core*, data log sumur (*wireline log*), dan serbuk bor (*drill cuttings*), dan *mud log*. Komponen-komponen ini pada akhirnya mengarah pada berat lumpur yang direkomendasikan yang diperlukan untuk mencegah kegagalan (*failure*) lubang bor. Ketidakstabilan lubang bor sangat bergantung pada keadaan tegangan (*stress*) di sekitar lubang bor (tegangan utama). Tegangan utama (*principal stresses*) adalah tegangan vertikal (S_v), tegangan horizontal maksimum (SH_{max}), dan tegangan horizontal minimum (SH_{min}), dimana magnitudo relatif dari ketiga tegangan tersebut dapat digunakan untuk menentukan jenis rejim tegangan patahan (*fault stress regime*).

Aplikasi mineralogi pada ketidakstabilan lubang bor terkait dengan aspek **kimiawi** adalah untuk menentukan komposisi lumpur yang sesuai dengan karakter formasi batuan yang ditembus mata bor, khususnya formasi *shale*, untuk menjaga kestabilan lubang bor (Buntoro et al. 2021). Dalam penentuan komposisi lumpur tersebut diperlukan sampel *cutting* yang diambil dari interval kedalaman yang didominasi oleh formasi *shale* untuk dilakukan analisis XRD, baik analisis *bulk*, maupun analisis *clay mineral (parallel clay oriented)*. Pada umumnya *shale problems* terjadi karena kekurangan pemahaman terhadap karakter *shale*, dimana karakter *shale* sangat dipengaruhi oleh kandungan mineral *clay (smectite, illite, chlorite, kaolinite)*, dimana *shale* yang dominan *smectite* bersifat *reactive (swelling)*, sedangkan yang dominan *kaolinite* bersifat *non-reactive (brittle)*. Untuk melengkapi analisis XRD terhadap sampel *cutting* dari formasi *shale* juga digunakan analisis MBT, sehingga dapat diketahui karakter *shale* yang dikelompokkan menjadi 4 kategori, yaitu: *soft, firm, hard, brittle* (Mondshine, 1966).

Penelitian terkait dengan problem *borehole instability* yang saya lakukan bersama tim peneliti UPNVY melalui kerjasama studi “Analisis Geomekanik dan Mineralogi Lapangan Migas di Lingkungan Pertamina Hulu” dengan Drilling UTC (Upstream Technology Center) PT. Pertamina (Persero) yang sekarang berubah menjadi Drilling Upstream Innovation PT. Pertamina Hulu Energi (PHE). Salah satu lokasi penelitiannya adalah Area Cekungan Jawa Timur Bagian Utara, yang secara ringkas dari hasil analisis geomekanik menunjukkan bahwa distribusi *overpressure* di daerah penelitian berdasarkan rejim tekanan dan hubungannya dengan kedalaman batuan dasar, dimana sumur yang berada di tinggian mempunyai rejim tekanan *low overpressure* dan sumur yang berada di dalaman mempunyai rejim tekanan *high overpressure*. Terdapat dua mekanisme pembentukan *overpressure* di daerah penelitian yaitu: *loading mechanism* dan



unloading mechanism. *Loading mechanism* diakibatkan oleh proses *disequilibrium compaction* (*rapid sedimentation*) dan *unloading mechanism* karena proses perubahan mineral lempung *smectite* menjadi *kaolinite* yang disebut sebagai proses *clay diagenesis* (Buntoro et al., 2022).

Sedangkan dari hasil analisis mineralogi (XRD) secara umum menunjukkan bahwa dari uji XRD sampel *cutting* dari beberapa sumur, antara lain sumur-sumur di Area Lapangan Mudi, Lapangan Sukowati, dan Lapangan Jambaran terdapat fenomena yang menarik, dimana dari hasil analisis *parallel clay oriented* terjadi adanya perubahan kandungan mineral *smectite* pada interval kedalaman semakin dalam semakin berkurang, sementara kandungan mineral *kaolinite* semakin dalam semakin meningkat. Hal ini mendukung hasil analisis geomekanik terkait dengan adanya *unloading mechanism* sebagai pengaruh adanya proses *clay diagenesis* (*smectite* menjadi *kaolinite*).

Penelitian mineralogi dapat saya lakukan bersama dengan tim peneliti UPNVY secara intensif berkat adanya Kerjasama dengan Sistem *On-Call Basis* dengan UTC PT. Pertamina (Persero) yang dimulai pada tahun 2012 sampai tahun 2021. Pada tahun 2015 UPN “Veteran” Yogyakarta mendapatkan bantuan 1 (satu) unit XRD merk “**Rigaku SmartLab**” dari PT. Pertamina (Persero), yang hingga saat ini masih digunakan untuk melakukan uji XRD dalam mendukung penelitian internal di UPNVY dan untuk uji XRD sampel *cutting* dari berbagai pemboran sumur di Wilayah Kerja PT. Pertamina di Indonesia.

Pengembangan Shale Hydrocarbon

Pada beberapa tahun terakhir produksi hidrokarbon konvensional di dunia telah mengalami penurunan dengan cepat, dan secara bertahap sumberdaya hidrokarbon non-konvensional (*unconventional shale reservoir*) mulai dikembangkan dari fase eksplorasi hingga produksi (Bai, 2016). Sementara menurut data dari Badan Geologi, ESDM (2010) menyatakan bahwa Indonesia mempunyai potensi *shale gas* yang sangat besar, yaitu total sebesar 574,07 TcF, dan Cekungan Sumatera Tengah mempunyai potensi terbesar di Indonesia, yaitu sebesar 86,90 TcF. Dengan demikian, penelitian yang terkait dengan sumberdaya hidrokarbon non-konvensional menjadi sangat penting untuk dilakukan, dalam rangka memperkuat/meningkatkan ketahanan energi nasional yang berkelanjutan.

Shale hydrocarbon termasuk kategori migas non-konvensional, dimana minyak dan gas bumi yang terkandung masih dalam batuan induk (*source rock*) dan belum bermigrasi pada batuan reservoir yang berdekatan, dengan karakteristik permeabilitas sangat rendah. Dalam pengembangan *shale hydrocarbon*, dengan permeabilitas yang sangat rendah ($k < 0,1$ mD), diperlukan informasi tentang sifat elastisitas batuan (parameter geomekanik) sebagai dasar untuk menentukan interval formasi dengan frakabilitas tinggi (Burnaman, 2009; Jin et al., 2014; Bai 2016; Jarzyna et al., 2013). Dengan demikian, maka diperlukan analisis geomekanik untuk memodelkan interval formasi serpih hidrokarbon dengan frakabilitas tinggi menggunakan data log sumur (Lobo et al.,



2017; Salah et al., 2019). Frakabilitas adalah fungsi dari *brittleness index*, dan dapat dihitung dari *Young's Modulus* dan *Poisson's ratio* (Grieser & Bray, 2007; Enderlin et al., 2011; Yuan et al., 2017; Buntoro, 2021).

Sui et al. (2015) menyatakan bahwa frakabilitas adalah merupakan parameter baru yang pada saat ini digunakan sebagai *descriptor* dalam menyeleksi interval perekahan hidrolik. Sebelumnya banyak yang berpendapat, bahwa hanya dengan parameter *brittleness* saja dapat mencirikan frakabilitas dari *unconventional shale reservoir*, dengan mengasumsikan bahwa formasi dengan *brittleness* yang tinggi akan mudah rekah. Chong et al. (2010) menyatakan bahwa *brittleness* saja tidak cukup untuk menggambarkan frakabilitas, karena formasi dengan *brittleness* yang lebih tinggi juga dapat menjadi *fracture barrier*. Untuk menggambarkan frakabilitas, tidak hanya kriteria “*high brittleness*” untuk membuat permukaan fraktur baru, tetapi juga harus dipertimbangkan aspek mineralogi. Misalnya, batugamping dolomit dengan *brittleness* yang tinggi, tetapi justru menjadi *fracture barrier* pada *shale reservoir*, karena *fracture gradient* dalam formasi *shale* lebih rendah dari formasi batugamping *dolomitic* dan dengan tekanan rekahan yang sama tidak dapat merekahkannya.

Formasi dengan *brittleness* yang tinggi dianggap sebagai kandidat perekahan hidrolik yang baik, tetapi sudut pandang ini tidak sepenuhnya benar, karena *brittleness* tidak menunjukkan kekuatan batuan (Jin, et al., 2014). Hal ini dapat dijumpai pada contoh kasus antara Formasi *Upper dan Lower Barnett Shale*, yaitu adanya Formasi batugamping dolomit Forestburg dengan *brittleness* yang lebih tinggi, tetapi justru menjadi *fracture barrier*. Untuk mengatasi adanya kelemahan dari kriteria *brittleness* yang tinggi sebagai *descriptor* dalam penentuan interval perekahan hidrolik, maka diperkenalkan parameter baru “*Fracability Index*”, yaitu dengan mengintegrasikan *brittleness* dan penyerapan energi selama proses perekahan hidrolik. *Fracability Index* digunakan asumsi bahwa *good fracturing candidate* tidak hanya *brittleness* yang tinggi, tetapi juga membutuhkan lebih sedikit energi untuk menghasilkan permukaan rekahan yang baru (Jin et al., 2014).

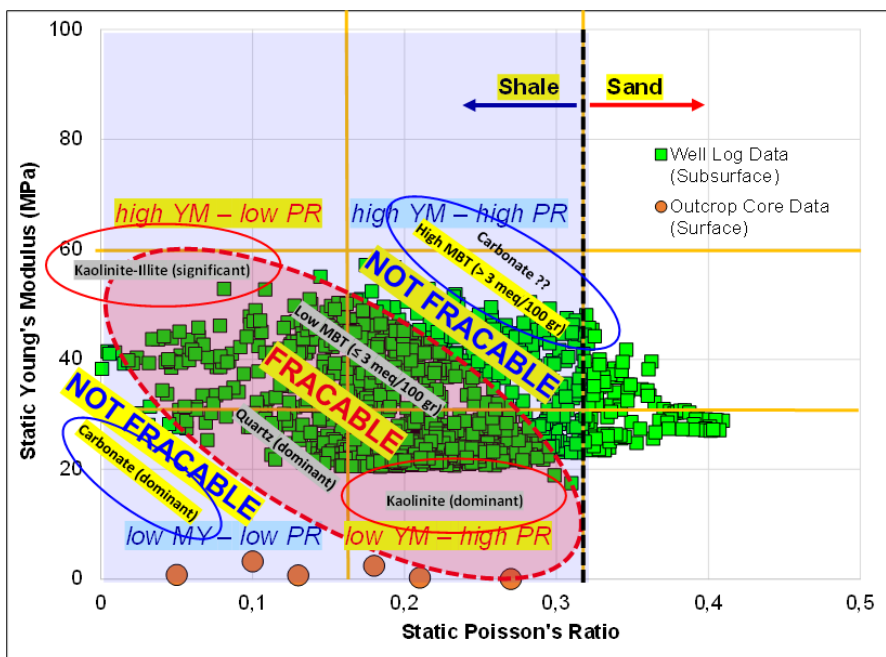
Penelitian terkait dengan pengembangan *shale hydrocarbon* yang saya lakukan dalam disertasi (Buntoro, 2021) adalah merupakan penelitian lebih lanjut dalam pengembangan sumberdaya hidrokarbon non-konvensional pada batuan induk (*source rock*) Unit Brownshale, Formasi Pematang Group di Dalamana Bengkalis yang areanya paling luas di Cekungan Sumatera Tengah (Holditch & Walter, 2009; Katz, 1995). Penelitian ini didedikasikan untuk membangun model frakabilitas serpih hidrokarbon Formasi Brownshale, sebagai dasar untuk perencanaan kombinasi posisi sumur horizontal dengan *multi-stage hydraulic fracking* secara optimal berdasarkan korelasi analisis **geomekanik** dan **mineralogi**. Dari korelasi analisis **geomekanik** dan **mineralogi** tersebut dapat digunakan untuk menentukan: *shale interval*, *fracability index cut-off*, *fracture barrier interval*, dan *sweetspot fracable window*, dengan menggunakan data *shale core* dan *shale sample* dari *outcrop analog (surface data)* yang merepresentasikan Formasi



Brownshale (Pematang Group) dan data *drill cuttings & well log (sub-surface data)* dari sumur yang menembus Formasi Brownshale.

Secara ringkas, dari hasil analisis mineralogi menunjukkan bahwa hadirnya mineral *carbonate* yang dominan pada model frakabilitas vertikal dari data *outcrop (surface)* berkorelasi dengan *fracture barrier* pada interval atas, sedangkan interval bawah sebagai *fracable zone interval* lebih didominasi mineral *quartz* dan *kaolinite*. Pada model frakabilitas vertikal dari data *drill cuttings (sub-surface)* menunjukkan hadirnya mineral *silimanite* dan *kaliophilite*, nilai *low MBT*, mineral *kaolinite-illite* berkorelasi dengan *fracable zone interval*.

Hasil **analisis mineralogi** tersebut jika diintegrasikan dengan *crossplot* dari *Poisson's ratio vs Young's Modulus* (hasil **analisis geomeknik**) dapat mempertegas zonasi *fracable zone*, sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penentuan posisi kombinasi sumur horizontal dan *multi-stage hydraulic fracking* secara optimal. Penentuan zonasi *fracable zone* berdasarkan integrasi *static elastic rock properties crossplot* dan analisis mineralogi dari data *outcrop core (surface)* dan *well log (sub-surface)*, yang disajikan pada gambar berikut.



(Modified from Perez, 2013, Proposed fracable zonation by Buntoro, 2021)

Penentuan zonasi *fracable zone* berdasarkan integrasi *static elastic rock properties crossplot* dan analisis mineralogi dari data *outcrop core (surface)* dan *well log (sub-surface)* (Buntoro, 2021).



Dari zonasi *fracable zone* menunjukkan adanya fenomena yang menarik, dimana pada interval *sweetspot fracable window* berada pada zona *high YM - low PR* dan *low YM - high PR*, sehingga dapat disimpulkan bahwa zona *high YM - low PR* dan *low YM - high PR* sebagai kandidat *hydraulic fracking* yang bagus. Sebaliknya pada interval *fracture barrier* berada pada zona *high YM - high PR* dan *low YM - low PR*, dimana keduanya berkorelasi dengan *Brittleness Index* (BI) yang tinggi, tetapi *Fracability Index* (FI) nilainya rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa *high YM - high PR* dan *low YM - low PR* adalah interval yang tidak layak sebagai kandidat *hydraulic fracking*.

Terkait dengan pengembangan Migas Non-Konvensional khususnya *shale hydrocarbon* pada saat ini telah diterbitkan **Permen ESDM No. 35 tahun 2021** tentang Tata Cara Penetapan dan Wilayah Kerja Migas yang menjadi Dasar Hukum **Tim Percepatan Pengusahaan Migas Non Konvensional (MNK)**. Terbitnya Permen ESDM tersebut merupakan momentum yang tepat pada saat Pemerintah mencanangkan peningkatan produksi minyak menjadi 1 juta barrel pada tahun 2030, salah satu upayanya adalah dari eksploitasi *shale hydrocarbon*.

Penelitian geomekanik dapat saya lakukan bersama dengan tim peneliti UPNVY secara intensif berkat adanya “Studi Geomekanik Regional Jawa Bagian Timur Bagian Utara” pada tahun 2014 – 2017 melalui Kerjasama PSME UPN “Veteran” Yogyakarta dan *Drilling Upstream Technology Center* (UTC) PT. Pertamina (Persero) dengan Sistem *On-Call Basis*. Pada 2018 disusul adanya “Studi Bersama MNK (*Shale Hydrocarbon*) pada Area Coastal Plain Pekanbaru (CPP)” melalui Kerjasama PSME UPN “Veteran” Yogyakarta dengan Konsorsium PT. Pertamina Hulu Energi (PHE) dan PT. Bumi Siak Pusako (BSP). Pada tahun 2020 PSME UPN “Veteran” Yogyakarta mendapatkan hibah Riset Ideasi *Upstream Research Technology Inovation* (URTI) PT. Pertamina (Persero), dengan judul penelitian “Pengembangan Perangkat Lunak yang Mengintegrasikan Mineralogi, Prediksi Tekanan Abnormal dan Model 3D Geomekanik untuk Meningkatkan Efisiensi Pemboran”.

Pengembangan Penelitian Kedepan

Pengembangan penelitian dalam bidang **geomekanik** dan **mineralogi** untuk mendukung kegiatan industri hulu migas pada saat ini sangat pesat. Penelitian dalam bidang geomekanik di industri hulu migas saat ini untuk perencanaan pemboran (*drilling plan*) sudah menjadi *mandatory*, sementara penelitian mineralogi di industri hulu migas juga menjadi hal yang sangat penting, baik dalam bidang pemboran, bidang produksi, bidang reservoir, dan bidang *enhanced oil recovery* (EOR).

Pada saat ini UPNVY sudah mendapatkan bantuan 1 (satu) unit XRD dari PT. Pertamina (Persero), tetapi bukan merupakan alat pamungkas, dan baru merupakan pintu masuk untuk melakukan kajian mineralogi lebih lanjut. Untuk pengembangan penelitian mineralogi masih diperlukan peralatan lain yang lebih *advance*, tetapi masih dapat memanfaatkan peralatan institusi



lain melalui kerjasama riset. Kedepan diharapkan UPNVY perlu melakukan pengembangan fasilitas peralatan lanjutan yang terintegrasi dalam wadah Laboratorium Terpadu UPNVY (Labtek yang saat ini gedungnya sedang dalam proses pembangunan). Kaum intelektual muda di lingkungan UPNVY khususnya diharapkan terus bersemangat untuk belajar dan melakukan penelitian secara berkesinambungan, sehingga dapat menciptakan *brand* UPNVY dalam teknologi kebumian yang mendunia.

Penutup

Sangat banyak yang dapat kita lakukan untuk mengaplikasikan **geomeknik** dan **mineralogi** dalam industri hulu migas, antara lain: untuk meminimalisir *shale problems (borehole instability)* agar dapat memperkecil *Non-Productive Time (NPT)* dalam *drilling operation*, dan untuk pemodelan frakabilitas dalam pengembangan *shale hydrocarbon* yang saat ini di Indonesia potensinya sangat besar dan masih “*virgin*”.

Semoga yang sedikit saya sampaikan ini menjadi pintu masuk dalam arena kajian **geomeknik** dan **mineralogi** yang lebih luas dan mendalam. Masih sangat sedikit kajian selama ini kita lakukan, dan diharapkan kedepan dapat lebih banyak lagi untuk mengembangkannya. Masih banyak kekurangan dalam kajian yang selama ini saya lakukan bersama tim peneliti UPNVY, maka diperlukan kerjasama yang lebih luas baik dengan perguruan tinggi yang lain maupun industri migas khususnya PT. Pertamina sebagai *end user*.

Sungguh unik **geomeknik** sebagai bagian dari ilmu mekanika yang mempelajari tentang kerak bumi (*crust*) dan proses berkembang di dalamnya, sementara **mineralogi** sebagai satu cabang ilmu geologi yang mempelajari tentang mineral, baik dalam bentuk individu maupun dalam bentuk kesatuan, dimana kedua cabang ilmu tersebut adalah merupakan bagian cara kita mempelajari dan memahami Ciptaan **Allah SWT** untuk kemaslahatan umat manusia. *Wallahu a'lam bishawab*.

Ucapan Terimakasih

Sungguh karunia kebahagiaan yang sangat besar datangnya dari **Allah SWT**, dan dukungan doa dan semangat yang terus mengalir dari:

Istri tercinta **Sri Rahayu Winarti** yang selalu menemani dalam suka dan duka dengan segala dinamikanya dan juga sebagai motivator untuk menggapai cita-cita yang mulia, dua buah hati **Ristika Dara Ninggar** dan **Ichsan Farandi Dananjaya**, serta cucu tercinta **Kanara Aisha Hannan**.

Alm **Bapak Wiryo Sugito** dan Almh **Ibu Watini** yang mengasuh dan membesarkan dengan penuh kasih sayang dan doa. Bapak dan Ibu Mertua Alm **Bapak Sarmin Wiryo Handoko** dan Almh **Ibu Sumirah**, semoga semua amal kebbaikannya diterima di sisi **Allah SWT**.



Rektor, Dekan Fakultas Teknologi Mineral, Kajar Teknik Perminyakan, Koordinator Prodi Teknik Perminyakan, dan semua jajaran Pimpinan dan staf UPN “Veteran” Yogyakarta.

Guru dan motivator yang memperkenalkan saya tentang penelitian dasar maupun terapan dalam dunia migas pada saat saya menempuh Program Pasca Sarjana (S2) di Teknik Perminyakan ITB yaitu **Dr-Ing. Rudi Rubiandini, Dr. Ir. C. Prasetyadi, M.Sc.** sebagai Promotor pada saat saya menempuh Program S3 di Teknik Geologi UPNVY yang telah membawa saya ke dunia *geoscience* yang dapat saya kembangkan lebih mendalam tentang konsep-konsep geologi untuk diaplikasikan dalam industri migas. **Dr. Ir. Ricky Adi Wibowo, M.T.** sebagai Co-Promotor yang telah membawa saya ke dunia geologi dan mengarahkan saya untuk belajar lebih mendalam tentang lingkungan pengendapan. **Dr. Suranto A. M., ST., M.T.** sebagai Co-Promotor yang telah mengajari saya untuk membuat publikasi berkelas internasional. **Dr. Ir. Basuki Rahmad, M.T., Prof. Dr. Ir. M. Nurcholis, M.Agr., Allen Haryanto Lukmana, ST., M.T., dan Muhammad Ocky Bayu, ST., M.T.,** yang telah banyak membantu dalam penelitian saya baik riset internal (LPPM UPNVY) maupun riset eksternal melalui kerjasama studi dengan PT. Pertamina, dan juga memberikan dukungan dalam pencapaian jabatan fungsional Guru Besar.

Alm **Bapak Prof. Drs. R. Bambang Soeroto** sebagai Pendiri UPN “Veteran” Yogyakarta dan Alm **Bapak Ir. Rochadi Gapar, DIC.** sebagai Pembina dan Pembimbing mahasiswa Jurusan Teknik Perminyakan, semoga amal ibadah dan ilmu yang beliau ajarkan menjadi amal yang terus mengalir. Terima kasih juga saya sampaikan kepada **Dr. Ir. Sigit Rahardjo, M.T.** atas dukungan beliau saat masih menjabat sebagai VP UTC PT. Pertamina (Persero) yang telah merealisasikan sumbangan dari PT. Pertamina (Persero) berupa 1 (satu) unit XRD untuk UPNVY. Unit XRD tersebut sangat bermanfaat untuk penelitian mineralogi, termasuk dapat memfasilitasi penelitian saya sebelum menempuh, saat menempuh, dan setelah lulus program Doktorat Teknik Geologi, dan juga dosen yang lainnya di lingkungan UPNVY, serta dapat membantu uji sampel *cutting* dari beberapa lapangan migas di Wilayah Kerja Pertamina dalam upaya meminimalisir *shale problems* yang berimplikasi terhadap *borehole instability*.

Para Dosen dan tenaga kependidikan di UPNVY, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan yang sangat berharga dalam pencapaian jabatan fungsional Guru Besar.

Semoga semua amal ibadah dan kebaikan diterima oleh **Allah SWT. Aamiin Yaa Robbal Alamiin.**

Wabillahi taufiq wal hidayah Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.



Daftar Pustaka

- Bai, 2016. "Why Are Brittleness and Fracability Not Equivalent in Designing Hydraulic Fracturing in Tight Shale Gas Reservoirs", *Petroleum* 2(1):Pages 1-19. doi: 10.1016/j.petlm.2016.01.001.
- Beni & Zimmerman, 2018. "Drilling Risk Identification through Anisotropic Geomechanical Modelling", *International Conference on Oil & Gas Engineering & Technology*.
- Bladh et al., 2001. "Handbook of Mineralogy", *Mineralogical Society of America*.
- Blatt, 1970. "Determination of Mean Sediment Thickness in the Crust: A Sedimentologic Method", *Geological Society of America* 81:255–62.
- Buntoro, 2021. "Pemodelan Frakabilitas Serpih Hidrokarbon Formasi Brown Shale Pada Dalam Bengkalis Cekungan Sumatera Tengah", Disertasi, Program Doktor Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Buntoro et al., 2021. "The Impact of Clay Diagenesis on Borehole Stability Based on XRD Analysis: A Case Study of Well BJN-004 in the North East Java Basin Area, Indonesia", *AIP Conference Proceedings* 2598(1):030038-1–12.
- Buntoro et al., 2022. "Overpressure Mechanism Prediction Based on Well Log and Mineralogy Analysis from Drill Cuttings of Well NSE-001 in the North Sumatra Basin Area, Indonesia", *Journal of Petroleum Exploration & Production Technology* 12:2801–2815.
- Burnaman, et al., 2009. "Shale Gas Play Screening and Evaluation Criteria", *Harding Shelton Group* Volume 3.
- Chong, 2010. "A Completions Guide Book to Shale-Play Development: A Review of Successful Approaches towards Shale-Play Stimulation in the Last Two Decades", *Society of Petroleum Engineers - Canadian Unconventional Resources and International Petroleum Conference 2010* 1:68–94. doi: 10.2118/133874-ms.
- Enderlin et al., 2011. "Predicting Fracability in Shale Reservoirs." *AAPG Annual Convention and Exhibition* #40783:4.
- Grieser & Bray, 2007. "Identification of Production Potential in Unconventional Reservoirs", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. SPE.
- Holditch & Walter, 2009. "How Technology Transfer Will Expand the Development of Unconventional Gas, Worldwide", *Unconventional Energy Resources: Making the Unconventional Conventional: 29th Annual* (2):150–80. doi: 10.5724/gcs.09.29.0150.
- Katz, 1995. "Stratigraphic and Lateral Variations of Source Rock Attributes of the Pematang Formation, Central Sumatra", *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 37:13–31. doi: 10.7186/bgs37199502.
- Jarzyna et al., 2013. "Shale Gas in Poland", *Intech Open Science* Volume 32(July):Page 205.
- Jin et al., 2014. "Fracability Evaluation in Shale Reservoirs - An Integrated Petrophysics and Geomechanics Approach", *Society of Petroleum Engineers - SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference 2014* (October 2015):153–166. doi: 10.2118/168589-ms.
- Lobo et al., 2017. "Methodology for Petrophysical and Geomechanical Analysis of Shale Plays. Case Study: La Luna and Capacho Formations, Maracaibo Basin", *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference Proceedings*. doi: 10.2118/185606-ms.
- Mondshine, 1966. "Successful Gumbo-Shale Drilling", *Journal of Petroleum Science and Engineering*.
- Potter, 1981. "Sedimentology of Shale", *Blackwell Science*.



- Salah et al., 2019. "Integrated Approach to Evaluate Rock Brittleness and Fracability for Hydraulic Fracturing Optimization in Shale Gas", *Society of Petroleum Engineers - SPE Oklahoma City Oil and Gas Symposium 2019, OKOG 2019*. doi: 10.2118/195196-ms.
- Society of Petroleum Engineers (SPE), 2015. "Borehole Instability", *PetroWiki*.
- Sui et al., 2015. "Comprehensive Evaluation on Shale Fracability Using Principal Component Analysis." *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 20(13):5965–76.
- Yuan et al., 2017. "An Improved Fracability-Evaluation Method for Shale Reservoirs Based on New Fracture Toughness-Prediction Models", Pp. 1704–13, *Society of Petroleum Engineers*. Vol. 22.
- Zoback, 2007. "Reservoir Geomechanics", *Cambridge University Press*.



Biodata



Prof. Dr. Ir. Aris Buntoro, M.T., lahir di Sleman, tanggal 28 Maret 1959, pada tahun 1978-1989 menempuh pendidikan S1 di Fakultas Teknik Perminyakan UPN “Veteran” Yogyakarta dengan judul skripsi “**Evaluasi Efisiensi Sistem Peralatan Produksi Sumur-sumur pada Anjungan Lepas Pantai di Lapangan Rama**”. Pada tahun 1994-1996 menempuh pendidikan pasca sarjana pada Program Studi Teknik Perminyakan ITB dengan judul tesis “**Perilaku Berbagai Lumpur Pemboran yang Digunakan pada Sumur dengan Suhu Tinggi Hingga 500 °F dan Efek Penambahan Aditif**”. Tahun 2017-2021 menempuh program doktoral di Program Studi Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta dengan judul disertasi “**Pemodelan Frakabilitas Serpih Hidrokarbon Formasi Brownshale pada Dalam Bengkalis Cekungan Sumatera Tengah**”.

Pengalaman jabatan: 1997-2005 Kepala Laboratorium Analisa Lumpur Pemboran, Perminyakan Jurusan Teknik Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta; 2017-Sekarang Kepala Laboratorium Analisa Lumpur Pemboran, Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta; 2021-Sekarang Koordinator Bidang Kajian Energi Pusat Studi Mineral (PSME) UPN “Veteran” Yogyakarta; 2020-Sekarang Kepala



Bidang Riset dan Pengembangan Teknologi Pemboran Pusat Studi Migas dan Panasbumi (PSP)
UPN “Veteran” Yogyakarta.

Pengalaman mengajar di Jurusan Teknik Perminyakan Program S1: Teknik Pemboran, Peralatan Pemboran, Teknologi Lepas Pantai, Geologi Migas dan Panasbumi, Sedimentologi & Mineralogi. **Program Magister (S2):** Pencegahan & Solusi Problem Pemboran Migas dan Panasbumi, Manajemen Pemboran Migas dan Panasbumi, Konsep & Model Konseptual Geologi Migas, Konsep & Model Geologi Panasbumi.

Pengalaman mengajar Public Training (In-house Training), tahun 1999-2014: Drilling Material, Basic Drilling Engineering, Mud Design & Problem Solving, Horizontal Drilling Technology, Production System Optimization, Well Stimulation, Introduction to Petroleum Engineering for Non-Petroleum Engineers.

Organisasi Profesi: Ketua IATMI (Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia) Komda Jateng & DIY tahun 2004-2006; Anggota IATMI, Anggota PII (Persatuan Insinyur Indonesia).

Pengalaman Penelitian dan Pengabdian Masyarakat:

- 2019 : Analisis Fraktur Singkapan Analog Untuk Penentuan Stress Utama Bengkalis Trough Cekungan Sumatera Tengah Dalam Pengembangan Shale Hydrocarbon Pada Brown Shale Formasi Pematang, Ketua Tim Peneliti. Hibah Penelitian Internal LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta Perjanjian Pelaksanaan Hibah Pengabdian Bagi Masyarakat, Nomor: B/136/UN.62/PT/V/2019.
- 2021 : Pemodelan Geomekanik 1D Berdasarkan Analisis Log Sumur dan Mineralogi: Studi Kasus Sumur OP-001 & OP-002 pada Area Cekungan Sumatera Utara, Ketua Tim Peneliti. Hibah Penelitian Internal LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta sesuai dengan Surat Perjanjian Nomor: B/41/UN.62/PT/IV/2021.
- 2021 : Karakterisasi Fasies Shale Sumur MLC-001 Cekungan Sumatera Utara. Ketua Tim Peneliti. PSME UPN “Veteran” Yogyakarta bekerja sama dengan Fungsi Explorasi Upstream Research Technology Inovation (URTI) PT. Pertamina (Persero). Nomor Kontrak: SP-003/G40100/2021-S0.
- 30 April 2021 : Penguji Mata Kuliah TM4000 Capstone Design dari Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB. Undangan Nomor : 120/SEK-HMTM/VIII/2021, Tanggal 6 Agustus 2021.
- 6 Agustus 2021 : Sosialisasi Peningkatan Publikasi Artikel Ilmiah Mahasiswa Teknik Perminyakan untuk Menunjang Indikator Kinerja Utama dengan Menyediakan asilitas Ruang Publikasi (Undangan dari Himpunan Mahasiswa Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta).
- 12 Agustus 2021 : Narasumber/Pembahas Sosialisasi SIMOPS, K3L dan Update Drilling Plan



Proyek Dieng 2 dan Patuha 2 (Undangan dari Direktorat Jenderal Energi Baru, Tebarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia). Undangan Nomor: 1740.Und/EK.04/DEP.A/2021, tanggal 10 Agustus 2021.

- 12-14 Okt 2021 : Penelitian Lapangan untuk Penelitian Geologi dan Sampling Formasi Brown Shale, di Wilayah Kerja PT. Karbindo Abesyapradhi, Kabupten Sijunjung, Sumatera Barat (Undangan dari FMIPA - ITB). Undangan Nomor: 07/K-01/1.7.6.5/SK/X/2021, tanggal 4 Oktober 2021.
- 2022 : Pre-Feasibility Study Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Oka-Ile Ange Flores Timur, Nusa Tenggara Timur. Surat Tugas Nomor: 1191301/UN1/FKT/LKFT/HM/2022, tanggal 13 Januari 2022
- 31 Maret 2023 : Narasumber/Pembahas Sosialisasi Drilling Campaign PLTP Lahendong dan Karaha (Undangan dari Direktorat Jenderal Energi Baru, Tebarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia). Undangan Nomor: 927.Und/EK.04/DEP.A/2023.

Pengalaman penelitian (studi) dengan industri migas:

- 2005 - 2006 : Integrated Study of GGRPE Limau Field, Unit Bisnis Pertamina EP Limau – Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2005 - 2006 : Study on Plan of Development (POD) Rengasdengklok Complex, PT. Pertamina (Persero) DOH JBB – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2006 - 2007 : Study on GGR Sabak Field, BOB PT. Bumi Siak Pusako - PERTAMINA EP dan Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2006 - 2007 : Study on G&G South Bene Bekasap Field, BOB PT. Bumi Siak Pusako – PERTAMINA EP dan Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2007 : Pipeline Crude Oil Measuring and Calculation (COMC) – Including all Facilities (Separator, FWKO, Boiler, Chemical Usage, etc.), Unit Bisnis Pertamina EP Tanjung & Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2007 - 2008 : Studi G&G Wilayah Kerja JOB Pertamina - Conoco Philips Sakakemang dan Ex Relinquish JOB Pertamina – Hess Jambi Merang, Sumatera, PT. PERTAMINA (PERSERO), Direktorat Hulu, Domestic New Venture Selatan dan LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2008 : Due Diligence Lapangan Kuala Simpang Timur, PT. Paspro Lintas Sarana – Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2008 : Studi Jaringan Pipa Penyalur dan Surface Facilities Lapangan Limau,



- Unit Bisnis Pertamina EP (Limau) – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2008 - 2009 : Jasa Redesign (Basic & Detail) Oil/Water Separation System - SPU Manunggul, Unit Bisnis Pertamina EP (Tanjung) – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2009 - 2010 : Jasa Bantuan Tenaga Ahli Simulasi Reservoir Tapian Timur, UBEP Tanjung – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2009 - 2010 : Digitalisasi Dan Validasi Data Sumur dan Operasional, UBEP Limau - LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2009 - 2010 : Advance Processing dan Interpretasi Seismik 3D Struktur Niru-Limau Barat-Tengah, UBEP Limau UBEP Limau – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2010 - 2011 : “Studi Pemetaan Geologi Lapangan dan Analisa Laboratorium Untuk Blok Blora”, PT. Sele Raya Energi (SRE) – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2011 : “Survey dan Pembuatan Dokumen UKL UPL untuk Re-Entry Sumur Padi-1 di Blok Blora, Jawa Tengah”, PT. Sele Raya Energi (SRE) – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2011 : “Kajian Revitalisasi Data Sebagai Kandidasi Rencana Kerja Reparasi, Reopening, Stimulasi, Fracturing Dan Optimasi Lifting PT. Pertamina EP Region Jawa 2010”, Pertamina EP Region Jawa – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2011 : “Pembuatan dokumen Lelang (Bid Document) pekerjaan Integrated Project Management (IPM) untuk Pemboran Sumur Eksplorasi Energy Equity Epic Sengkang Pty. Ltd.”, Energy Equity Epic Sengkang Pty. Ltd. – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Project Leader.
- 2012 : “Jasa Konsultan Bidang Migas & Pabum di Lingkungan Pertamina dengan Sistem On Call Basis”, PT. PERTAMINA – Upstream Technology Center (UTC) – UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2013 : “Penyusunan Dokumen POFD Lapangan Cemara (PEP Asset 3), Lapangan Semanggi (PEP Asset 4), dan Lapangan Samboja (PEP Asset 5)” EPT PT. Pertamina EP – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Project Leader
- 2014 : “Studi Reservoir, Material Balance/Pressure Evaluation/Production Evaluation, Lapangan Lindai, Batang, dan Meso” PHE Siak – LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta, Project Leader.
- 2014 : “Studi Geomechanic Lanjutan Untuk Jawa Bagian Timur”, ", PT. Pertamina – Upstream Technology Center (UTC) – UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2015 : “Studi Lanjutan Geomechanic Regional Jawa Bagian Timur”, PT.



- Pertamina – Upstream Technology Center (UTC) – UPN “Veteran” Yogyakarta, Team Leader.
- 2016 : “Assistance Service – Geomechanical Study of Karang Mudi Field”, JOB Pertamina PetroChina East Java (JOB PPEJ) – LPPM UNDIP, Project Leader.
- 2016 : “XRD Analysis for Identification Hole Problem in Drilling Operation of Jatibarang Field, PT. Pertamina EP Asset III – UTC PT. Pertamina (Persero), Team Leader
- 2017 : “XRD Analysis for Identification Hole Problem in Drilling Operation of Well BBS-06, PT. Pertamina EP Asset III – UTC PT. Pertamina (Persero), Team Leader
- 2018 : “Join Study of Unconventional Hydrocarbon (Migas Non Konvensional) Coastal Plain Pekanbaru (CPP) Block, Consortium PHE-BSP, Team Leader.
- 2019 : “Pembuatan Prosedur Uji Performa Unit Pemboran dan Aplikasi Software”, Drilling UTC – PSME UPN “Veteran” Yogyakarta, Project Leader.
- 2019 – Sekarang : “Studi Analisis XRD Sampel Cutting dari Pemboran Sumur-sumur Migas” di WK PT. Pertamina EP (MLC-001 & TTA-001, GARCINIA-001, Asset 1 PEP; SWI-001, GNY-001, PRBT C-001, Asset 2 PEP; BBS-009, AMJ-001, ASB-003, JAS-16 & JAS-17, ABG-007, Asset 3 PEP; SKW-17, SKW-24, SKW-36, JAM-1 & JAM-4, Asset 4 PEP; PRB-001, NWO-001, Asset 5 PEP; Yvonne-1, Yvonne-4 & Yvonne-9, PHE OSES; NSB, PHE NSO), SKW-24 & SKW-36, MUDI-26; SALAWATI-001X, KLAMONO-001, KAWISTA-001, MARKISA-001, Asset 4 PEP), Team Leader.
- 2020 : “Studi Geologi Regional & Prospectivity Blok Maratua PHE LPB”, Swakelola PSME – UPN “Veteran” Yogyakarta, Project Leader.
- 2020 – 2022 : “Pengembangan Perangkat Lunak yang Mengintegrasikan Mineralogi, Prediksi Tekanan Abnormal dan Model 3D Geomekanik untuk Meningkatkan Efisiensi Pemboran”, Riset Ideasi, Upstream Research & Technology Research & Technology Center, PT. PERTAMINA (Persero), Team Leader.
- 2021 – 2022 : Studi Inovasi Penggunaan Machine Learning dalam Penerapan Cementing Untuk Mengatasi Lost Circulation pada Pemboran Sumur Minyak dan Gas Bumi (Tahun 2021-2022), Team Leader.

Publikasi:

- The laboratory Study of Clay Swelling Problem at Well KRN-1, Majalah WIMAYA, Author, July 1996
- The Laboratory Study of The Resistance of Water Base Muds with Varies Thermal Stability Agent at Elevated Temperatures up to 500°F, INAGA Symposium in Jakarta, co-author, October 1996.



- The Laboratory Study of The Effect of Magnesite (MgO) as Expanding Additive on Shear Bond Strength at Elevated Temperatures up to 250°C, Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi - IATMI, Author, October 1996.
- The Determination of WOB/RPM Combinations for Rolling Cutter Bits, Buletin Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta, Author, 1996.
- The Laboratory Study of Corrosion Problem in Oil/Gas and Geothermal Fields, co-author, Buletin Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta, 1996.
- Directional Drilling Trajectory Analysis by Using Steerable System, Jurnal Teknologi Minyak & Gas Bumi, Majalah Resmi IATMI No. 10 - 1998, Author, December 1998.
- Stress Corrosion Cracking (SCC) of AISI 420, 4140 and 1045 Materials on Alloy Steel in Oil, Gas and Geothermal Industry at Elevated Temperatures in Hydrogen Sulfide Environment, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas, co-author, 16 - 19 February 1999.
- The Effect of Expanding Additive of MgO with Burning temperature 1200°C and 1300°F on Shear Bond Strength and Compressive Strength, Final Report, RUT, LP- ITB, Reseacher Team Member, 2000.
- The Reseach f Mud Rheology of Low Filtration Mud at High Temperature, Final Report, RUT, LP- ITB, Reseacher Team Member, 2000.
- The Determination of Pipe Sticking Mechanism Using Theoretical Approach, Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi, No. 11 - 2000 ISSN 0216-6410, Author.
- The Laboratory Test of Cement Slurry Characteristic with Local Product Cement, Buletin Teknologi Mineral, Nopember 2000.
- Pemberdayaan Masyarakat di Sekitar Kegiatan Industri, Simposium Nasional Tata Ruang Daerah Berbasis Kemampuan Lahan dan Implikasinya Pada Ekonomi Lokal, UPN “Veteran” Yogyakarta, 17 - 18 Desember 2002.
- Improved Pacitan Bentonite as Drilling Material, International Conference on Mineral and Energy Resources Management, Yogyakarta, Indonesia, July 29 - 31, 2003
- Efek Penambahan Bentonit Sebagai Extender Additive Pada Semen Kelas G Terhadap Setting Time Sebagai Alternatif Dalam Mengatasi Problem Penyemenan Sumur Bertekanan Rendah pada Lapangan Tua, Seminar Sehari, IATMI Komda Jateng & DIY, 27 Agustus 2004
- Teknologi Casing Drilling Sebagai Alternatif Dalam Efisiensi Operasi Pemboran, Penulis Utama, Simposium Nasional IATMI, Jakarta, 30 Nop – 1 Des 2004.
- Studi Mineralogi Deposit Bentonit Kulon Progo dan Alternatif Sebagai Bahan Dasar Lumpur Pemboran, Penulis Utama, Simposium Nasional IATMI, Jakarta, 30 Nopember – 1 Desember 2004.
- Evaluation of Pipe Network Optimization by Using Commercial Software in Tanjung Field, IATMI Symphosiu, Yogyakarta, July 2007.
- Wiggins Theory Application for High Water cut Wells in Tanjung Field, IATMI Symphosium, Yogyakarta, July 2007.
- Evaluation of Thickness Point and Corrosion on Pipeline in Tanjung Field, IATMI Symphosium, Yogyakarta, July 2007.
- Casing Drilling Technology as the Alternative of Drilling Efficiency, IADC/SPE Asia Pacific



Drilling Technology Conference (APDT), 25 - 27 August 2008, Jakarta, Indonesia.

- Pertumbuhan material Interlayer di Mineral Lempung Smekit di Tanah Leptic Hapludert yang berkembang di atas Ca-Bentonit di Nanggulan Kulon Progo. Jurnal Forum Geografi. Hal 178-179. 2012. Fakultas Geografi UMS- LPPM UM. Penulis Kedua.

Detail publication can be viewed on this link:

<https://doi.org/10.23917/forgeo.v26i2.5071>

- **Lumpur Pemboran, Perencanaan dan Solusi Masalah Secara Praktis**, Monograf, Edisi Pertama, Cet. 1, 2017, Penerbit Teknosain, Penulis Tunggal.

Detail publication can be viewed on this link:

<http://grahailmu.id/product/lumpur-pemboran-perencanaan-dan-solusi-masalah-secara-praktis/>

- Brittleness Index and TOC as Potential Parameters in Brown Shale Formation Pematang Group on Outcrop in Limapuluh Koto Area, West Sumatra, Prosiding, Simposium IATMI 2018, Padang, 1 - 3 Oktober 2018.

Detail publication can be viewed on this link:

<https://www.researchgate.net/publication/342419978>

- Validation of Shale Brittleness Index Calculation from Wireline Log of Well BETRO-001 by Using XRD Test Results and Uniaxial Test as Parameters for Determining Potential of Shale Hydrocarbon - Brown Shale of Pematang Group Formation, Central Sumatra Basin, Bengkalis Trough. Prosiding, ICEMINE 2018, 11 Oktober 2018.

Detail publication can be viewed on this link:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/212/1/012069/meta>

- Sweet Spot Fracable Window of Lithofacies Association of Brown Shales in Kiliranjao Sub-basin, West Sumatra Indonesia Using Rock Geomechanics Approach, Prosiding, ICEMINE 2019, 3 Oktober 2019.

Detail publication can be viewed on this link:

<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0007212>

- Analisis Fraktur Singkapan Analog untuk Penentuan Stress Utama Bengkalis Trough Cekungan Sumatera Tengah dalam Pengembangan Shale Hydrocarbon pada Brown Shale Formasi Pematang, Prosiding, URL Prosiding Seminar Nasional 2019 LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Shale Hydrocarbon Development Based on Drill Cuttings & TOC Analysis: Case Study of Brownshale Drill Cuttings of Well BS-03, Pematang Formation, Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Jurnal Internasional, Open Journal of Yangtze Gas and Oil, published on May 14th, 2020 (Volume 5, Number 3).

Detail publication can be viewed on this link:

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=100194>

- Correlation of Silimanite & Kaliophillite Minerals, TOC, Ro, and MBT from Drill Cutting of Well BS-03 in the Development of Shale Hydrocarbon, Brownshale Formation, Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Indonesia, Open Journal of Yangtze Gas and Oil, published on October 30th, 2020 (Volume 5, Number 4).

Detail publication can be viewed on this link:



<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=103900>

- The Effect of Poisson's Ratio and Young's Modulus on Fracture Geometry of 2D Model PKN: Case Study of Unconventional Reservoir. Proceeding, Professional Technical Paper - IATMI, Online Presentation 25 October 2020,
Detail publication can be viewed on this link:
<https://www.iatmi.or.id/digital-symposium-iatmi-2020/>
- Application of Fracture Barrier Analysis in Well Stimulation Planning for Upper Baturaja Limestone Formation Based on Well Log & Drill Cutting Data from OBF-01 and OBF-04 Wells, Offshore Southeast Sumatra, Journal of Petroleum and Geothermal Technology - Petroleum Engineering Dept UPN VY, November 2020 (Volume 1, Number 2).
Detail publication can be viewed on this link:
DOI: <https://doi.org/10.31315/jpgt.v1i2.3686>
- **Prosedur Pemodelan Geomekanik 1D Berdasarkan Data Log Sumur dan Aplikasinya**, Monograph, 01 November 2021 (LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta), Penulis Pertama.
Detail publication can be viewed on this link:
https://www.researchgate.net/publication/359710958_Prosedur_Pemodelan_Geomekanik_1D_Berdasarkan_Data_Log_Sumur_dan_Aplikasinya
- Feasibility Study on the Application of Dynamic Elastic Rock Properties from Well Log for Shale Hydrocarbon Development of Brownshale Formation in the Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Indonesia, Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology, May 20, 2021 (JGEET Vol 6 No 2/2021).
Detail publication can be viewed on this link:
<https://journal.uir.ac.id/index.php/JGEET/article/view/5944>
- Evaluation of Mud Weight Using Safe Mud Window Concept Based on Well Log Data: A Case Study of Well OP-002 in the North Sumatra Basin Area, Indonesia. Proceeding, Virtual Conference, LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta, October 5-7, 2021. Penulis Pertama dari 4 Penulis. Conference Series: Engineering and Technology, 1(1), 248–266.
Detail publication can be viewed on this link:
<https://proceeding.researchsynergypress.com/index.php/cset/article/view/411>
- Geomechanical Analysis from Well Log for Brownshale Hydrocarbon Development in the Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Indonesia, Geosystem Engineering (TGES), Received 22 Oct 2020, Accepted 27 Oct 2021, Published online: 16 Nov 2021.
Detail publication can be viewed on this link:
<https://doi.org/10.1080/12269328.2021.2002199>
- Vertical Fracability Model on Lithofacies Association of Brownshale Formation from Outcrop Analog in the West Sumatra Area Using Rock Mechanical and Mineralogy Correlation Method: A Preliminary Study of Shale Hydrocarbon Development in Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin. Journal on Geoscience Vol. 9 No. 1 April 2022, Hal 71-88. Manuscript received: August 12, 2019; Revised: April 23, 2021; Approved: June 3, 2021; Published online: 1 April 2022.
Detail publication can be viewed on this link:



<http://ijog.geologi.esdm.go.id/index.php/IJOG/issue/current>

- Shale Reservoir Characterization Based on Geomechanical and Mineralogy Analysis: A Case Study of Well BS-03 Data of Brown Shale Formation in the Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences* (2022) 15:1160, Received: 6 May 2021 / Accepted: 31 May 2022 © Saudi Society for Geosciences 2022, Published online; 13 June 2022.

Detail publication can be viewed on this link:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-022-10410-0>

- Overpressure Mechanism Prediction Based on Well Log and Mineralogy Analysis from Drill Cuttings of Well NSE-001 in the North Sumatra Basin Area, Indonesia. *Journal of Petroleum Exploration & Production (PEPT)*. Penulis Pertama dari 6 Penulis. Received: 15 November 2021; Accepted: 3 March 2022 Published on 15 Mar 2022.

Detail publication can be viewed on this link:

https://link.springer.com/epdf/10.1007/s13202-022-01482-5?sharing_token=7ntkGtg7cqgOuYoxUTDO-Pe4RwlQNchNBvi7wbcMAY5fQRRa9k_jVWQQAvI-yl-izDAB3IBmYyWbWTi2D3HAN2ecQsZfiEVe0BcJTlmY8CG1hp4L90Lc2F11OkVZAUasOstA5J6Ew23NkOyEsCbpi_GtKdvIn0PsMZbkuVLI7is%3D

- The Impact of Clay Diagenesis on Borehole Stability Based on XRD Analysis: A Case Study of Well BJN-004 in the North East Java Basin Area, Indonesia. *AIP conference Proceeding* 2598, 030038 (2023).

Detail publication can be viewed on this link:

<https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/2598/1>

- The 1D Geomechanic Modelling for Wellbore Stability in North Sumatra Basin: A Case Study of the Well RHM-00. *AIP conference Proceeding* 2598, 030038 (2023)

Detail publication can be viewed on this link:

<https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/2598/1>

- Facies Control on the Fracability in Shale Hydrocarbon Development Based on Geomechanical Analysis of Well Log and Mineralogy Analysis of Drill Cuttings: A Case Study of the Lower Baong Fm and Belumai Fm of the NSB-001 Well in the North Sumatra Basin, Indonesia. *ICGoES International Conference on Geological Engineering and Geoscience*, Universitas Gadjah Mada, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, 21 – 23 September 2022.
- Mineral Characterization of the Klasaman and Klasafet Formations Based on XRD and MBT Analysis from Drill Cuttings of Well KKF-001 as a Basis for Drilling Mud Planning in the North Klamono Field, West Papua. *International Conference Earth Science, Mineral and Energy*, The 5th ICEMINE 2022, November 10 th, 2022.