



Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Terdampak Lumpur Sidoarjo Menggunakan Data Gravitasi Citra Satelit Topex

Feby Andriany^{1*}, Mimin Iryanti¹

¹Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia

[*Andriany_feby@upi.edu](mailto:Andriany_feby@upi.edu)

Abstrak

Peristiwa semburan lumpur Sidoarjo telah menjadi isu nasional dari aspek teknis, sosial, dan ekonomi, serta politik. Penyebab terjadinya erupsi lumpur Sidoarjo masih menjadi tanda tanya apakah murni akibat kesalahan pengeboran atau disebabkan adanya aktivitas seismik. Terlepas dari perdebatan penyebab fenomena lumpur, kondisi geologis bawah permukaan di daerah Sidoarjo menarik untuk diteliti. Untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan daerah terdampak lumpur Sidoarjo ini perlu dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan terkait bencana semburan lumpur yang terjadi, salah satunya dengan metode FHD dan SVD. Data yang digunakan merupakan data gaya berat yang diperoleh dari satelit Topex pada koordinat antara $7^{\circ}20'40.28'' - 7^{\circ}57'40.28''$ LS dan $112^{\circ}16'27.42'' - 112^{\circ}53'27.42''$ BT. Grafik SVD menunjukkan terdapat patahan disekitar daerah penelitian dengan jenis patahan normal. Struktur permukaan Lumpur Sidoarjo di pemodelan 2D menghasilkan sebaran densitas antara $1,78 - 2,356 \text{ gr/cm}^3$ dengan jenis batuan limestone, sandstone, dan soils.

Kata kunci: gaya berat, metode SVD, topex

1. Pendahuluan

Gunung lumpur (mud volcano) merupakan fenomena alam yang lazim dijumpai di jalur tumbukan lempeng tektonik. Gunung lumpur tersebar luas di seluruh dunia. Gunung lumpur pertama kali ditemukan di daerah yang memiliki aktivitas vulkanisme yang besar, yaitu di Lapangan Flegrei, di Sisialia dan di Islandia. Pada waktu itu keberadaan gunung lumpur diduga berhubungan dengan proses endogenik, yaitu suatu proses yang terjadi karena adanya gaya dari dalam bumi. Rembesan minyak dan gas serta bagian yang memproduksi minyak dan gas merupakan tempat yang sama dalam produksi mud diapir dan gunung lumpur, seperti pada Zona Bogor, Serayu Utara, Kendeng-Madura. (Satyana, t.t.).

Kejadian semburan lumpur Sidoarjo telah menjadi isu nasional, yaitu dari aspek teknis, sosial, ekonomi, serta politik. Ada pun faktor penyebab kejadian semburan lumpur hingga saat ini masih belum jelas, apakah merupakan efek gempa, akibat proses pengeboran, atau karena faktor alam lainnya.

Metode Gayaberat adalah salah satu metode dalam geofisika yang didasarkan pada pengukuran medan gravitasi. Pengukuran ini dapat dilakukan dipermukaan bumi, kapal maupun di udara. Dalam metode ini yang dipelajari adalah variasi medan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan medan gravitasi dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya. (Mussett, 1997)



Metode gaya berat didasarkan oleh hukum Newton tentang gaya berat. Hukum Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut.

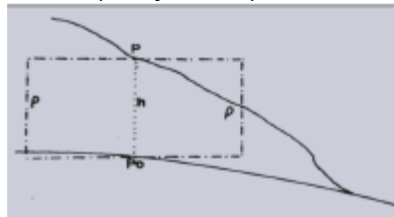
Gaya tarik menarik antara 2 buah benda tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\vec{F}(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

Seperti halnya metode geofisika lainnya, metode gaya berat memiliki koreksi sebagai berikut:

1) Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer berbanding terbalik dengan koreksi udara bebas. Jika titik pengukuran berada diatas bidang geoid, koreksi akan dikurangkan. Hal ini disebabkan oleh kandungan massa yang ada diatas bidang geoid membuat nilai g dari titik pengukuran lebih besar dari g pada bidang geoid, sehingga untuk membuat titik pengukuran berada di bidang geoid maka koreksinya harus dikurangkan. Berlaku sebaliknya, jika titik pengukurannya terletak dibawah bidang geoid, koreksinya akan ditambah (Bosy, 2016)



Gambar 1. Lempeng Bouguer dengan ketinggian h (Latifah, t.t.)

Koreksi ini dihitung dengan persamaan (Bosy, 2016):

$$g_b = 2\pi G \rho h \quad (2)$$

dengan,

$$\pi = 3.14$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

ρ dalam gr/cm^3 , dan h dalam m, maka:

$$g_b = 0,04192\rho h \quad (3)$$

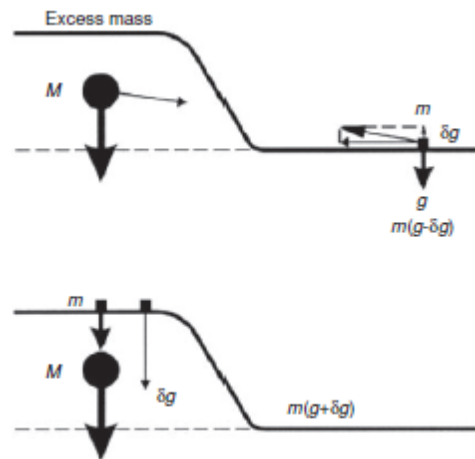
Anomali Gayaberat setelah diaplikasikan koreksi udara bebas dan koreksi Bouguer yaitu:

$$SBA = FAA - BC \quad (4)$$

2) Koreksi Terrain (Koreksi Medan)



Koreksi medan dilakukan untuk mengoreksi adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Efek dari adanya bukit pada titik pengukuran ditunjuk pada gambar 2.



Gambar 2. Efek dari keberadaan bukit pada titik pengukuran (Reynolds, 1997)

Perhitungan koreksi topografi dilakukan dengan menggunakan Hammer chart. Hammer chart membagi area ke dalam beberapa zona dan kompartemen (segmen). Hammer melakukan pendekatan terhadap adanya pengaruh topografi dengan suatu cincin (Bosy, 2016). Adapun untuk pengolahan data terrain dalam penelitian ini dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Ilmi, 2020):

$$TC = \frac{2\pi G\rho}{n}(r_L - r_D) + (\sqrt{r_L^2 - z^2}) - (\sqrt{r_D^2 - z^2}) \quad (5)$$

Karena komponen gaya horizontal (koreksi medan) bersifat mengurangi nilai Gayaberat terukur, maka koreksi medan harus ditambahkan pada Simple Bouguer Anomaly (SBA), sehingga anomali menjadi Complete Bouguer Anomaly (CBA).

$$CBA = SBA + TC \quad (6)$$

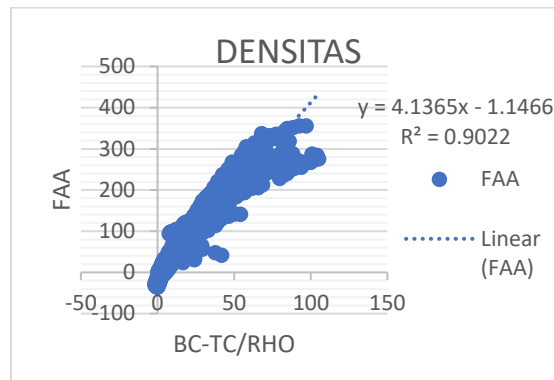
Pemetaan struktur bawah permukaan di daerah terdampak lumpur Sidoarjo menggunakan data anomali gayaberat Bouguer dapat memberikan informasi tambahan tentang model densitas batuan bawah permukaan.

2. Metode

Sumber data sekunder yang diperoleh dari website Sattellite Geodesy at the Scripps Institution of Ocanography, University of California San Diego (<http://tpoex.ucsd.edu>) berupa data topografi dan gravity yang terletak pada koordinat antara 7°20'40.28" – 7°57'40.28" LS dan 112°16'27.42" – 112°53'27.42" BT.

Pengolahan data dimulai dengan proses koreksi terrain dan koreksi bouguer pada data FAA. Hasil kedua proses koreksi data tersebut yaitu berupa nilai anomali bouguer lengkap untuk setiap titik analisa. Distribusi nilai anomali tersebut untuk nilai densitas batuan rata-rata sebesar 2,67 g/cm³ pada lokasi penelitian disajikan pada gambar 3.

Nilai densitas batuan rata-rata lokasi penelitian diperoleh dengan menggunakan metode Nettelon. Pada metode ini, diperoleh nilai densitas batuan sebesar 4,1365 g/cm³.

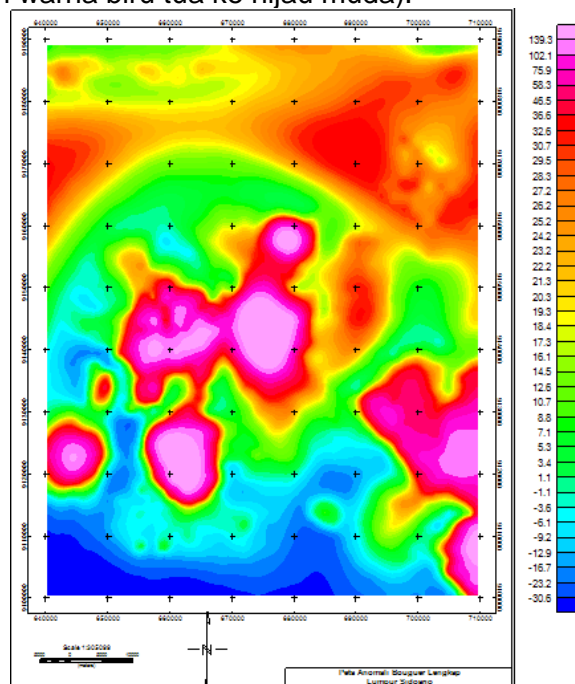


Gambar 3. Grafik Densitas

Untuk mendapatkan struktur bawah permukaan dari data gaya berat, maka anomali Bouguer lengkap hasil pengukuran dan perhitungan harus dilakukan pemisahan anomali regional dan residual yang nantinya dilakukan analisa pada pola anomali yang memiliki nilai tinggi berdasarkan peta SVD (Second Vertical Derivative) residual. Kemudian, ditarik kelurusan dari penampakan nilai anomali yang tinggi - rendah. Selanjutnya dilakukan interpretasi dengan menggabungkan data-data geologi yang ada di daerah tersebut sehingga akan diperoleh pemodelan/kurva struktur bawah permukaan yang dapat memperlihatkan jenis densitas batuan.

3. Hasil dan Pembahasan Anomali Bouguer Lengkap

Pola anomali bouguer lengkap daerah Lumpur Sidoarjo terbagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian pertama dari 24,2 – 139,3 mGal (kontur dari warna jingga ke warna merah muda), bagian kedua dari 1,1 – 24,2 mGal (kontur dari warna hijau muda ke warna jingga), dan bagian ketiga dari -30,6 – 1,1 mGal (kontur dari warna biru tua ke hijau muda).



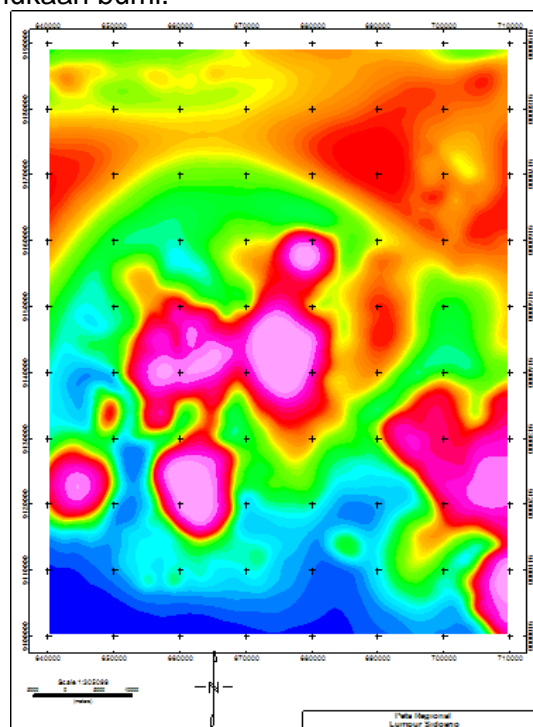
Gambar 4. Peta Anomali Bouguer Lengkap



Perbedaan pada nilai kontur disebabkan oleh perbedaan densitas batuan ataupun struktur batuan yang terdapat pada daerah penelitian. Nilai anomali yang tinggi tersebut diduga oleh kontras densitas batuan yang tinggi, pola anomali yang tinggi ini juga diduga kuat adanya patahan bawah permukaan dan nilai anomali rendah diindikasikan oleh adanya batuan yang memiliki densitas lebih kecil dibandingkan batuan sekitarnya serta adanya bagian lapisan batuan yang patah akibat patahan yang terjadi. Nilai anomali gravitasi memiliki hubungan berbanding lurus dengan nilai densitas batuan ataupun material dibawah permukaan pada daerah penelitian. Nilai densitas batuan yang tinggi akan menghasilkan nilai anomali gravitasi yang tinggi pula. Sedangkan, untuk batuan yang memiliki nilai densitas yang rendah akan menghasilkan nilai anomali gravitasi yang rendah. Pada daerah yang memiliki nilai anomali gravitasi yang rendah menunjukkan batuan dasar yang tertutupi oleh endapan sedimen yang tebal yang memiliki nilai densitas yang kecil. Namun, pada daerah yang memiliki nilai anomali gravitasi tinggi menunjukkan batuan dasar dekat dengan permukaan ataupun material endapan sedimen tidak terlalu tebal menutupi batuan dasar dibawah permukaan.

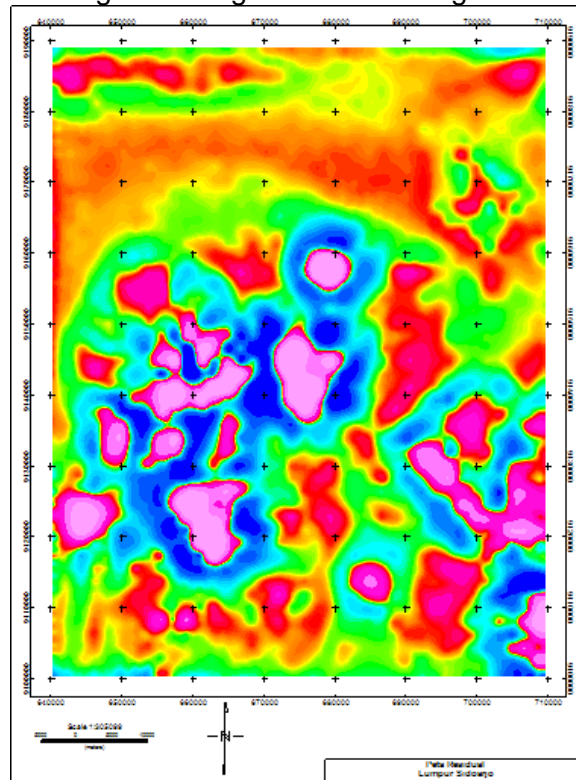
Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan Metode Cosine Roll of Filter. Anomali regional berupa informasi geologi batuan dasar atau yang dicirikan sebagai anomali yang berfrekuensi rendah dan biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang lebih dalam, sementara anomali residual informasi geologi permukaan diindikasikan sebagai anomali yang berfrekuensi tinggi digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang lebih dangkal lebih dekat dengan permukaan bumi.



Gambar 5. Peta Anomali Regional Daerah

Pada peta anomali regional daerah penelitian terdapat tiga pola anomali, diantaranya anomali tinggi dengan rentang nilai berkisar 24,2 mGal sampai 136,7 mGal (diinterpretasikan dengan warna jingga muda – merah muda), anomali sedang dengan rentang nilai 9,1 mGal sampai 24,2 mGal (diinterpretasikan dengan warna hijau - jingga), dan anomali rendah dengan rentang nilai -30,6 mGal sampai 9,1 mGal (diinterpretasikan dengan warna hijau muda – biru tua). Peta anomali residual (sisa) dihasilkan dari pengurangan anomali regional dengan anomali Bouguer.



Gambar 6. Peta Anomali Residual Daerah

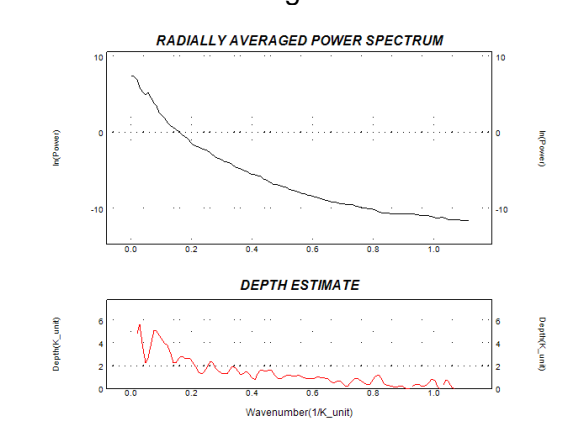
Peta anomali residual daerah penelitian terdapat 3 pola anomali, diantaranya anomali tinggi berkembang disebelah Tenggara, Barat, Utara dan Timur Laut dengan rentang nilai berkisar 19626.6 mGal sampai 197752.2 mGal (dengan warna jingga muda – merah muda), anomali sedang berkembang disebelah Barat Daya dengan rentang nilai 19626.6 mGal sampai -12520.0 mGal (dengan warna kuning tua – hijau tua), dan anomali rendah berkembang disebelah Timur, dan Selatan dengan rentang nilai -261873.2 mGal sampai -12520.0 mGal (dengan warna biru tua – biru muda).

Analisa Spektrum

Analisis spektrum bertujuan untuk mengetahui kedalaman bidang batas dari sumber penyebab anomali secara analisis numerik baik itu anomali regional, anomali residual dan noise. Batas kedalaman didapatkan berdasarkan perhitungan nilai gradient (m) masing- masing anomali yang ditarik berdasarkan grafik yang dihasilkan. Kedalaman bidang batas dalam hal ini adalah besar kemiringan (harga mutlak slope) dari Log Power Spektrum (Ln Amplitudo) terhadap frekuensi.



Berdasarkan grafik analisa spectrum kedalaman anomali pada daerah penelitian mencapai ± 6000 meter. Diagram spektrum tersebut digunakan dalam melakukan pemisahan batas anomali regional-residual. Berdasarkan hasil analisis spektrum diperoleh bahwa batas sumber anomali regional berasal dari kedalaman ± 5900 meter, batas sumber anomali residual berasal dari kedalaman ± 2500 meter, dan sumber noise berasal dari kedalaman < 2500 meter. Densitas rata-rata batuan pada zona regional maupun residual adalah 2.67 gr/cm^3 .



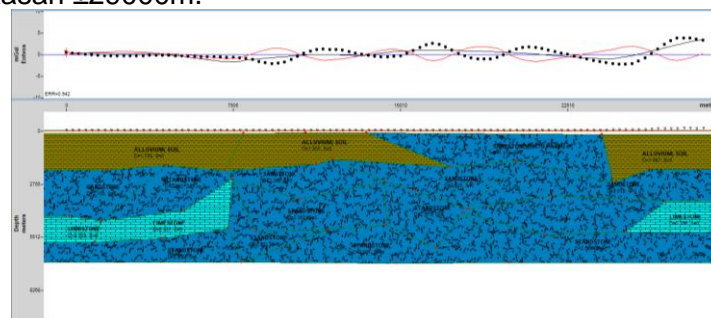
Gambar 7. Peta Kedalaman

Interpretasi Kuantitatif

Setelah anomali regional dan lokal dipisahkan, maka akan memperoleh anomali Bouguer lengkap lokal yang kemudian diinterpretasi. Interpretasi dilakukan dengan menganalisa dan mengiris anomali lokal tersebut, proses ini dinamakan dengan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menganalisis penampang pola anomali yang telah ditentukan. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif sehingga dapat menentukan bagian – bagian penampang anomali yang menarik untuk ditafsirkan struktur geologi bawah permukaannya.

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menafsiran pola anomali untuk menentukan struktur bawah permukaan dilakukan dengan melalui tahap pemodelan. Pemodelan geologi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GM-SYS yang dapat dipakai untuk memodelkan data gaya gravitasi.

Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 5 Kedalaman maksimum model struktur bawah permukaan menggunakan GM-SYS $\pm 7000\text{m}$ dengan panjang lintasan $\pm 29000\text{m}$.



Gambar 8. Pemodelan 2D Bawah Permukaan Lumpur Sidorarjo



Pada lapisan pertama yang ditunjukkan warna coklat diinterpretasikan sebagai alluvium dan soil dengan densitas $1.753 - 1.877 \text{ gr/cm}^3$ serta warna biru yang diinterpretasikan sebagai sandstone (batu pasir) dengan densitas 1.915 gr/cm^3 . Lapisan kedua yang ditunjukkan dengan warna biru yang diinterpretasikan sebagai sandstone (batu pasir) dengan densitas $2.016 - 2.108 \text{ gr/cm}^3$. Pada lapisan ketiga yang ditunjukkan warna biru diinterpretasikan sebagai sandstone (batu pasir) dengan densitas $2.062 - 2.077 \text{ gr/cm}^3$ serta warna biru muda yang diinterpretasikan sebagai limestone dengan densitas $2.303 - 2.356 \text{ gr/cm}^3$. Dan pada lapisan keempat yang ditunjukkan warna biru diinterpretasikan sebagai sandstone (batu pasir) dengan densitas $2.016 - 2.031 \text{ gr/cm}^3$.

4. Simpulan

Berdasarkan interpretasi kualitatif dapat diketahui bahwa pola kontur anomali bouger dapat dibedakan menjadi 3 pola, yaitu bagian pertama dari $24,2 - 139,3 \text{ mGal}$ (kontur dari warna jingga ke warna merah muda), bagian kedua dari $1,1 - 24,2 \text{ mGal}$ (kontur dari warna hijau muda ke warna jingga), dan bagian ketiga dari $-30,6 - 1,1 \text{ mGal}$ (kontur dari warna biru tua ke hijau muda. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa terdapat tiga lapisan yaitu Alluvium dan soils dengan densitas $1.753 - 1.877 \text{ gr/cm}^3$, sandstone dengan densitas $1.915 - 2.108 \text{ gr/cm}^3$, dan limestone dengan densitas $2.303 - 2.356 \text{ gr/cm}^3$.

Daftar Pustaka

- Bosy, R.S. (2016). Analisis gravitasi untuk menentukan struktur geologi dan analisis petroleum systems cekungan barito daerah tanjung, kalimantan selatan. Universitas Trisakti.
- Latifah, I. (t.t.). (2010). PROGRAM STUDI FISIKA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SYARIF HIDAYATULLAH JAKARTA 2010. 67.
- Mussett, Alan. (1997). An Introduction to Geophysical Exploration. *Geophysical Journal International*, 128(2), 499–499. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01572.x>
- Reynolds, J.M. (1997). An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley.
- Satjana, A.H. (t.t.). (2008). PROCEEDINGS, INDONESIAN PETROLEUM ASSOCIATION Thirty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2008. 1.