

Frekuensi dasar (fundamental frequency), harmonics, dan overtones.

Apakah arti dari kata2 diatas?

Perlukah kita memasang low pass filter pada kick drum?

Kenapa banyak orang memasang high pass filter dalam mixing?

EQ ato harmonic exciter?

Kenapa sama2 nada A 440Hz, tapi gambar di spectrum analyzer sangat berbeda?

Kenapa suara violin, piano atau cello (dan alat musik yg berbeda lainnya) lain2 walaupun memainkan 1 nada sama?

Kenapa karakter suara ber beda2?

Semua pertanyaan diatas akan terjawab oleh artikel ini. Artikel ini dibuat untuk sebagai pengenalan audio pada umumnya. Untuk detail lebih lanjut, buku-buku audio/akustik sangat disarankan untuk menjadi referensi. Mari kita mulai bahas satu satu.

Mari kita lihat apakah pengertian dari masing2 kata2 tersebut menurut kamus akustik nya Mofrey:

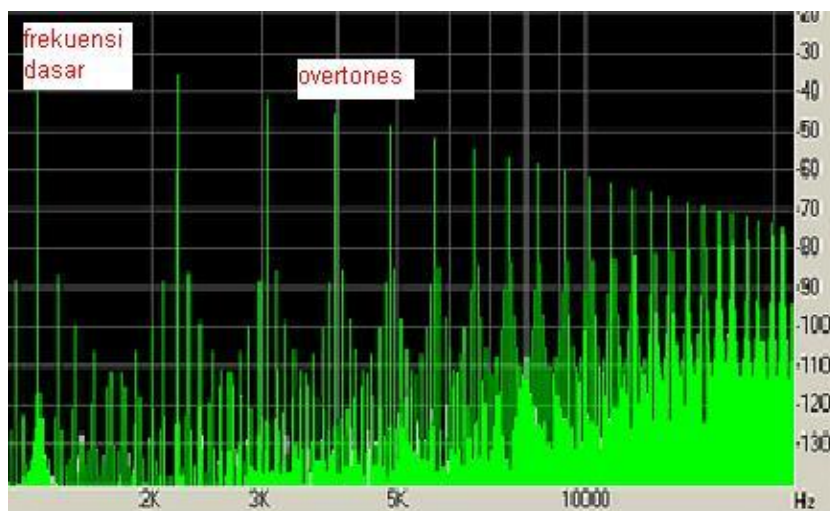
Frekuensi dasar -> frekuensi natural terendah dari sebuah system atau harmonic pertamanya.

Harmonic -> komponen frekuensi2 dari sebuah sinyal periodic.

Overtones -> frekuensi2 natural diatas frekuensi dasar.

Lalu, apa sih beda harmonic dan overtones?

Harmonics adalah overtones, namun overtones BELUM TENTU harmonics. Overtones adalah frekuensi2 diatas (yang lebih tinggi) dari frekuensi dasar yang belum tentu berkelipatan bulat (betul, segala frekuensi diatas frekuensi dasar adalah overtones), namun harmonics adalah frekuensi2 diatas frekuensi dasar yang berkelipatan bulat. Lihat gambar dibawah:



Secara sekilas kita dapat tahu bahwa frekuensi terendah dari sinyal yang tergambar oleh RTA/spectrum analyzer diatas adalah 1kHz, semua frekuensi diatasnya adalah overtones. Ada harmonics nya? Ada! Perhatikan bahwa frekuensi dasar 1kHz akan mempunyai harmonics : 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,dst. kHz. Kita dapat lihat bahwa 2kHz juga ada disitu, namun amplitudanya sangat kecil (harmonics tidak mendominasi). Selanjutnya, anda dapat menganalisa sendiri.

Bagaimanakah bunyi sebuah sinyal yang mempunyai banyak harmonics dibandingkan banyak overtones?

Sinyal dengan lebih banyak harmonics akan lebih musical. Misalkan seseorang memainkan nada A 440Hz di sebuah alat musik (non-perkusif) seperti flute. Nada 440Hz ini akan sangat kuat di telinga kita. Namun, bagaimana jika kita meng-e-tune snare drum supaya di spectrum analyzer mempunyai nada 440Hz sebagai fundamental frequency? Apakah 440Hz ini terdengar jelas?

Harmonics menguatkan fundamental frequency karena adanya persamaan sub-harmonics (tidak akan di bahas artikel ini). Semakin banyak dominasi oleh harmonics, frekuensi dasar akan semakin di support/kuat. Sedang snare atau kebanyakan suara2 perkusif mempunyai lebih banyak overtones yang bukan harmonics! Itulah kenapa walaupun spectrum analyzer kita sudah menghasilkan 440Hz sebagai fundamental frekuensi snare drum tsb, otak kita masih susah menebak apakah nada dasar dari snare tersebut. Perfect pitch person mungkin dapat menebaknya.

Yuk .. lanjut bahas masalah ini sampai tuntas ...

Menurut rumus : $f=1/T$ atau $T=1/f$ dimana f adalah frekuensi dan T adalah perioda. Semakin singkat waktu yang dibutuhkan sebuah suara (seperti click yang sangat cepat), frequency range nya akan semakin lebar. Hal ini terbukti seperti halnya anda menekan tuts piano. Cobalah mainkan dengan secepat mungkin. Otak kita belum tentu dapat menebak nada apa itu. Dan coba tahan selama mungkin ... Seperti halnya snare drum/kick drum dimana instrument percussive tersebut tidak dapat kita 'tahan' bunyinya, frequency range nya semakin lebar ... karena makin lebar, jelas overtones makin banyak bukan? (suara yang perkusif terdengar serasa "full/penuh" di telinga saya).

Suara instruments yang mempunyai karakteristik pitched percussive (piano, marimba, xylo, dsb), dan pure-percussive instruments (snare drum, wooden blocks, kick drum, dsb) akan memiliki banyak overtones. Mungkin anda bertanya, lalu kenapa pitched percussive instruments seperti piano masih mudah di tebak nadanya?

Adalah karena dominasi dari harmonics. Dominasi dari harmonics tersebut akan menguatkan frekuensi dasar sehingga telinga kita mudah menebak apa nadanya. Cobalah percobaan sebagai berikut:

1 Cari oscillator, dan mainkan 500Hz.

2 Lalu tambah 1kHz dan dengarkan hasilnya dengan amplitudanya sama atau sedikit lebih rendah.

3 Tambah 1500Hz, 2000Hz dan 2500Hz secara serentak dengan amplitudanya sama/sedikit lebih rendah.

Dengarkan 500Hz tersebut ... jelas kan? Silahkan tambah kelipatan 500Hz sampai dengan 10000Hz kalau mau ... 500Hz akan terdengar jelas. Sekadang, matikan semua harmonics, dan jalankan sampai dengan nomer 3 diatas. Lalu tambah frekuensi : 650Hz, 900Hz, 1100Hz dan 1900Hz. Dengar kan 500Hz nya Dengar dengar dengar Jelas? Blur? Saya tidak akan menjawab apa hasilnya. Sangat unik ..silahkan coba sendiri.

Karakter suara sering kali tidak kita sadari, namun kita sering menyebut timbre atau spectrum contents bukan? Mari kita artikan secara harafiah : spectrum contents -> isi spektrum. Sekali lagi ... tiap suara ber beda dan mempunyai karakter sendiri walaupun mempunyai nada sama/fundamental frequency sama ...secara gamblang nya, yah .. itu karena kandungan overtones dan harmonics nya berbeda! (dari bentuk fisik, resonansi yang terjadi, dan sebagainya)

Interupsi .. ada pertanyaan: ada ngga kalau suara yang punya 2 fundamental frekuensi?

Ehm ... apakah ada? Apa arti dari fundamental frequency? Frekuensi TERENDAH. Jelas ada satu kan? Bagaimanapun, ada kemungkinan bahwa ada suara dengan kandungan overtones:

200Hz 237Hz 474Hz 500Hz 711Hz 948Hz 1300Hz.

Seandainya amplitudanya sama semua. 200Hz ini mungkin akan tergeser oleh 237Hz karena 474, 711 dan 948 adalah harmonics dari 237Hz! Harmonics tersebut yang amplitudanya sama akan menguatkan persepsi 237Hz di otak kita karena persamaan sub-harmonic (dan konsep virtual pitch pada pendengaran kita). Bagaimana jika 237Hz nya di buang? Silahkan anda coba percobaan ini ... masih dengar? Saya yakin anda masih mendengar 237Hz. Hal itu sekali lagi diakibatkan karena harmonics dari 237Hz "ada" dalam karakter suara tersebut.

Karakter suara bisa juga berubah berdasarkan waktu! Contoh .. organ pipa/pipe organ. Beberapa studi telah menemukan bahwa beberapa set dari suara organ pipa mempunyai karakter yang unik. Dalam detik ke 0 ketika organ tersebut di bunyikan pada nada A=440Hz, 880Hz akan mendominasi, namun detik 1-2 harmonic ini akan turun dan 440Hz akan mendominasi!

Contoh tersebut sering kita jumpai di mana2. Cobalah piano ... tekan dengan keras sebuah nada dan tahan sampai dengan nada tersebut hilang. Awalnya, suaranya akan sangat perkusif bukan? Lihat di spectrum analyzer ... apakah yang anda lihat (1)? Lalu setelah 1-3 detik ditahan ... perhatikan spectrum analyzer, apa yang anda lihat (2)?

1 Banyak overtones, banyak spikes ... suaranya ? silahkan coba sendiri

2 Overtones berkurang ... coba anda ambil snapshot pada detik 2-3 ... dan perhatikan harmonics nya.

Sampai dengan sejauh ini, saya tidak banyak menyertakan contoh .. COBALAH sendiri! Temukan keunikan dan kehebatan telinga kita sehingga anda dapat membedakan overtones dan harmonics secara nyata.

Setelah mengerti bahwa overtones/harmonics adalah pembentuk karakter, apakah anda mau memasang low pass pada kick/bass? Saya rasa itu adalah ide buruk dan tidak bijaksana.

BANYAK konsep plug ins, hardware dan sebagainya yang hanya menggunakan konsep dasar dari artikel ini. Silahkan check artikel saya yang berjudul [tips buat bright tanpa pake EQ](#). Ini adalah salah satu contoh konkret dari penggunaan konsep ini.

Pernah anda coba merekam strings (biola/viola/cello/bass -> yg di gesek, bukan di petik) diruangan yang mati dan hasilnya "gelap" atau dull? Anda mencoba membuat bright dengan menggunakan EQ. Apakah hasilnya? Cobalah sendiri dan bandingkan dengan menggunakan harmonic exciter seperti yang saya jelaskan di artikel saya terdahulu.

Bagaimana untuk musisi? Apakah pengertiannya sama/beda?

Konsep overtones memang sangat unik! Pernah berpikir mengapa fourth voicing sangat ambigu? Mengapa konteks chord tersebut dapat terdengar consonant dalam konteks dissonance dan sebaliknya? Overtones pada musik sama dengan overtones pada audio. Mari kita bahas lebih lanjut. *jawaban pertanyaan 4th voicing ini ada di akhir pembahasan sub topic ini.

Apakah overtones dari C?

C C G C E G Bb C D E F# G dan seterusnya.

Anggaplah C dasarnya adalah 100Hz. Secara singkat overtones musik yah .. sama dengan overtones audio karena C dasarnya adalah 100Hz, maka yang lainnya hanyalah kelipatannya!

100Hz 200Hz 300Hz 400Hz 500Hz 600Hz, dan seterusnya. Kalau mau anda coba, silahkan coba dengan nada A=110Hz ... jika anda ikuti hitungan audio dan musik nya, pasti akan sama. Yuk kita buktikan dengan equal temperament tuning.

Nada A=110Hz (A diatas middle C/C tengah adalah 440Hz), A ini adalah A di oktaf ke-2 dari sebuah piano. Menurut perhitungan yang sudah kita tahu, overtones dari A ini(atau harmonics ..ehm) adalah : 110, 220, 330, 440, 550, 660, 770, 880, dan sebagainya. Yuk kita berhitung untuk mengetahui nada apakah frekuensi2 tersebut:

Menurut equal temperament, 1 oktaf adalah 2 kali dari kelipatan frekuensi dasar, jadi:

110 (A), 220 (A), 330 (??), 440 (A), 550 (??), 660 (??), 770 (??), 880(A) ... itu lah nada A yang kita tahu. Selanjutnya ... kita dapat melihat chart nada/frekuensi secara singkat untuk mendapat jawaban, namun mari kita berhitung dahulu.

Apakah frekuensi E (perfect 5th diatas A)?

Kita dapat hitung dengan perhitungan pada artikel saya (tips membuat bright tanpa EQ). Rumus : $f_{patokan} \times 2^{n/12}$ dimana n adalah jarak/langkah dari frekuensi patokan. Di jelaskan di bawah ini:

Karena E (atau perfect 5th) mempunyai jarak 7 langkah dari A (1 oktaf adalah 12 langkah), maka frekuensi E diatas A110Hz adalah $110 \times 2^{7/12} = 164.814Hz$. Dengan mencari oktaf dari E ini, kita mendapatkan angka2 : 329.628Hz (2X164.814), 659.255Hz (2X329.628), dan 1318.51Hz (2X659.255Hz).

Maka kita dapat melengkapi urutan kita diatas:

110 (A), 220 (A), 330 (E), 440 (A), 550 (??), 660 (E), 770 (??), 880(A)

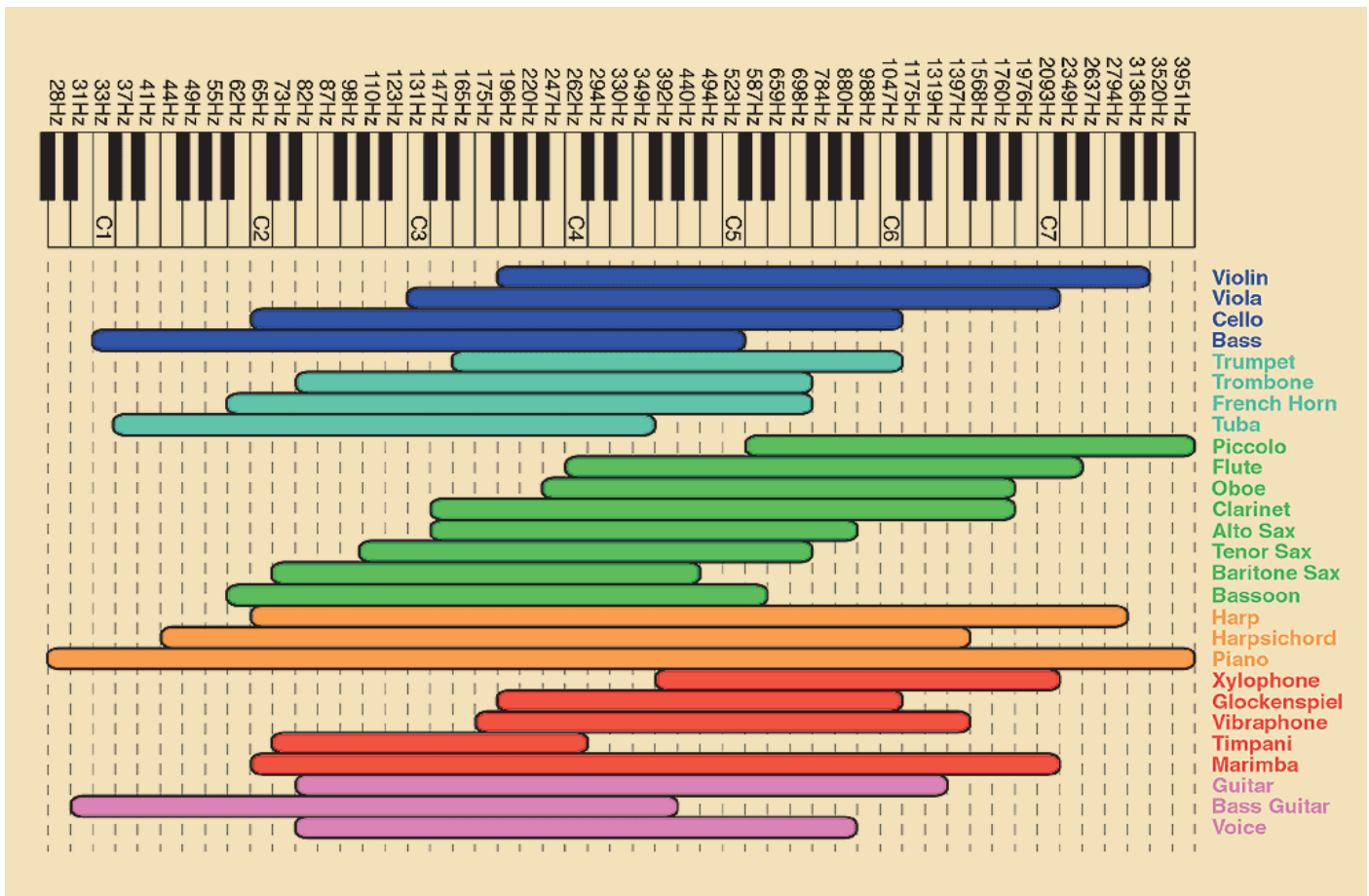
Menurut urutan overtones, kita tahu bahwa major 3rd keluar pada urutan ke-5 dan minor 3rd pada urutan ke-7. Dengan itu, kita dapat prediksi bahwa frekuensi urutan ke 4 jika di kali $2^{4/12}$ akan menghasilkan major 3rd nya. Karena urutan ke-4 adalah A, kita tahu bahwa major 3rd nya adalah C#, namun berapa frekuensi nya? A=440Hz, major 3rd nya : $440 \times 2^{4/12} = 554.365Hz$. Jadi urutannya:

110 (A), 220 (A), 330 (E), 440 (A), 550 (C#), 660 (E), 770 (G), 880(A)

Dan minor 3rd diatas urutan ke-6 adalah $660 \times 2^{3/12} = 784.877Hz$. Yaitu G.

Hasil perhitungan equal temperament sedikit melenceng dan tidak genap di karenakan equal temperament "memaksa" untuk membagi oktaf menjadi 12 bagian yang sama "jauhnya".

Mari kita buktikan dengan chart dibawah ini kalau urutan tersebut diatas adalah benar/salah: (C# tidak tercantum pada chart di bawah ini).



Bagaimana? Benar? Salah? Terbukti bukan overtones adalah **satu kata** entah di pakai oleh musisi/audio engineer?

Bagaimana dg pertanyaan fourth voicing tadi?

Mari kita lihat : D7 sus4 yang di susun secara fourth voicing yang di mainkan pada nada dasar D major sebagai: (dari bawah keatas) A – D –G –C. Secara diatonic, D7 ini berakar dari D mixolidian dengan isi D E F# G A B C D dan mempunyai kecenderungan resolusi ke Gmaj7. Namun, dengan penerapan instrumentasi dan arrangement yang benar, chord ini terasa dissonance! Mengapa?

Perhatikan tangga overtones: C C G C E G Bb C. Fourth terjadi pada urutan ke -3 dan 4. Dan diikuti oleh major 3rd (C ke E) bukan? Jadi, A – D –G –C akan menghasilkan beberapa “nada halusinasi” sebagai berikut: A – D – (F#) - G – (B) – C – (E). F# terjadi karena A dan D, B terjadi karena D dan G, dan E terjadi karena kombinasi G dan C. Sekilas otak kita mencerna situasi ini, dan pada arrangement tertentu, chord ini dapat bersuara dissonance (dissonance karena minor 2nd F#-G dan B-C, dan juga karena F# adalah avoid note pada konteks sus4 chord) walaupun konteks nya consonant (sebagai V7/I yang mau resolve ke IVmaj7).

Arrangement music, texture instrumentation semua dapat di tata. Dengan mengetahui konsep overtones, musisi dapat lebih lagi meng-explore dunia dissonance.

Lebih lanjut ...

Pernahkah anda berpikir bahwa headphones yang bagus dapat menghasilkan frekuensi yang sangat rendah seperti 60Hz? Padahal kita tahu bahwa driver headphones adalah sangat kecil! Bagaimana dengan speaker 6inch yang dapat menghasilkan frekuensi dibawah 80Hz dengan baik?

Cone/driver dari sebuah speaker mempunyai modal response. Dalam halnya bergetar di frekuensi rendah, cone sebuah speaker akan bergetar lebih efisien dibandingkan frekuensi2 tinggi. Bayangkan cone sebuah speaker di getarkan 10.000kali per detik untuk menghasilkan frekuensi 10kHz. Apakah cone tersebut akan bergerak maju mundur 100% dengan akurat? TIDAK! Cone2 tersebut akan "pecah2" menjadi bagian2 kecil yang bergetar. Hal ini diperiksa oleh Ernst Chladni pada percobaannya mengenai mode of vibration.

Cone speaker juga akan mempunyai mode of vibration berdasarkan massa, berat jenis, keelastisitasan dan sebagainya. Dengan pemilihan material, pembuatan yang sangat teliti, mode of vibration dari sebuah material dapat di kontrol. Misalkan A ingin membuat headphones/speakers yang dapat menghasilkan 60Hz. Namun material nya sudah mempunyai -3dB down point/roll-off sekitar 100Hz. A dapat meng-e-tune bahan material nya sehingga mode of vibration nya menghasilkan modal response 120Hz, 240Hz, 360Hz dan 480Hz. Dengan itu, frekuensi 60Hz yang tidak ada akan di support oleh modal frekuensi tersebut dan akhirnya menipu otak kita seakan2 bahwa 60Hz ada. Unik bukan? Sekarang anda sudah tahu kenapa speaker yang bagus mahal? Ini adalah salah satu kemajuan teknologi berapa tahun silam. Dengan konsistensi dan pembuatan cone dengan baik dan benar (ter prediksi dengan baik), response frekuensi dapat terbantu. Modal frequency pada cone tidak selamanya menguntungkan. Mengetahui konsep pengertian harmonics/overtones sangatlah penting untuk audio engineers, composers, arrangers dan semua profesi di dalam bidang musik/audio.

Akhir kata, saya harap artikel ini bermanfaat dan mohon maaf jika ada kesalahan kata/hitungan diatas.

YP Hadi SK

Ps. Anda mungkin sering menemukan harmonics/overtones di bawah fundamental frequency saat meng-FFT/RTA sebuah sinyal, Hal ini sering di jumpai karena distorsi dari elektronik, resonansi ruangan dan hal2 "luar" lainnya. Fundamental frequency sbg frekuensi terendah biasanya mendominasi dalam hal amplitude. Seperti anda merekam vocal dengan bising kendaraan bermotor. Jelas ada frekuensi2 di bawah fundamental tersebut dan itu tidak member kontribusi terhadap karakter suaranya. Analisa dimana fundamental frekuensi dapat menjadi ambigu pada sinyal2/kondisi tertentu.