

## Teknik Tanda Air (*watermarking*) Pada Berkas Partitur Musik

Ali Akbar

Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No.10 Bandung, Indonesia

[if13095@students.if.itb.ac.id](mailto:if13095@students.if.itb.ac.id)

---

### Abstrak

Kebutuhan mekanisme proteksi terhadap multimedia telah muncul sebagai wacana sejak lama. Teknik proteksi yang sering digunakan sejak dahulu untuk melindungi suatu karya adalah teknik tanda air (*watermarking*). Teknik penanda-airan telah berkembang dari zaman ke zaman, dari pencetakan logo pada proses pembuatan kertas, yang dapat digunakan untuk pengecekan keaslian, sampai pada teknik tanda air modern yang bekerja secara digital. Dengan adanya internet, kebutuhan akan *watermarking* semakin meningkat untuk melindungi karya dalam bentuk digital. Dengan adanya kebutuhan dari *music publisher* untuk melakukan transaksi komersial melalui internet, dan kebutuhan penyebaran yang cepat dan menjangkau seluruh tempat didunia, maka dibutuhkan teknik-teknik *watermarking* untuk memproteksi karya musik. Salah satu bentuk hasil karya musik yang perlu diproteksi adalah partitur musik.

Partitur musik merupakan notasi-notasi yang disepakati untuk merepresentasikan suatu lagi ataupun suatu komposisi musik lengkap. Partitur musik dapat disimpan secara digital dalam bentuk citra digital maupun dalam bentuk simbolik (dalam bentuk notasi-notasi musik, misalnya MusicXML)[3]. Teknik penanda-airan digital untuk citra telah sejak lama dikembangkan, dan telah berhasil menyediakan proteksi terhadap citra berwarna maupun citra hitam-putih. Tetapi, teknik tanda air raster yang umum dipakai pada citra tidak dapat memenuhi kebutuhan proteksi terhadap partitur musik, bahkan dapat merusak partitur musik [2][5], sehingga tidak dapat digunakan untuk menambahkan tanda air pada media partitur musik. Penyisipan tanda air pada partitur musik dapat dilakukan pada dua tempat. Pertama, pada tampilan, misalnya dengan mengubah tebal garis paranada, atau menggeser sedikit letak not. Kedua, pada notasi musik, dengan menambahkan atau mengubah notasi musik yang ada pada partitur.

Makalah ini membahas teknik *watermarking* terhadap partitur musik pada kedua aspek partitur yang dapat disisipi tersebut. Makalah ini hanya membahas *watermarking* terhadap partitur musik digital yang disimpan dalam bentuk citra digital, tidak membahas mekanisme *watermarking* pada partitur musik digital yang disimpan dalam bentuk notasi simbolik.

Kata kunci: partitur musik, tanda air (*watermark*)

---

## 1 Pendahuluan

Perkembangan internet saat ini menyebabkan penyebaran informasi secara digital menjadi sangat mudah dan cepat. Pentingnya distribusi data secara komersial melalui internet tidak dapat disangkal lagi. Melalui internet, penyedia barang/jasa dapat menjual barang atau menawarkan jasanya kepada pelanggan. Dengannya, pelanggan maupun penyedia/penjual mendapatkan keuntungan dari internet, seperti kecepatan, ketersediaan dan kemudahan penggunaan.

Selain untuk penggunaan komersial, internet juga telah mempertukarkan data dalam jumlah besar, pada penggunaan internet untuk keperluan privat para pengguna internet. Sayangnya, sebagian dari data yang dipertukarkan seharusnya tidak dipertukarkan karena mengandung hak cipta. Penyebaran data yang mengandung hak cipta sebenarnya ilegal, tetapi hal ini tidak dapat dibatasi dengan mudah.

Anggapan bahwa karena data multimedia yang berharga berukuran besar, maka data tersebut terproteksi dengan sendirinya saat ini sudah tidak berlaku. Kecepatan internet yang semakin lama semakin cepat dengan mudah menyingkirkan halangan ini. Apalagi dengan bermunculannya teknik kompresi modern, ukuran tersebut dapat dikurangi secara signifikan. Contohnya teknok kompresi audio MPEG. Konsekuensinya,

industri musik terkena dampaknya. Internet telah menjadi tempat pertukaran musik bajakan. Berkas audio digital dapat dengan mudah disalin dan disebar.

Partitur musik adalah sumber dari musik. Partitur digunakan untuk mengajarkan musik, memainkan musik, untuk menuliskan musik, untuk menyimpan musik. Partitur juga digunakan untuk membuat musik. Gambar 1 menunjukkan sepotong partitur musik.

Konversi partitur musik ke dalam format digital dapat dengan mudah dilakukan. Pemindai digital (*scanner*) pada saat ini dapat dengan mudah dan murah didapatkan. Kualitas citra partitur musik hasil pemindaian menggunakan pemindai tersebut cukup bagus bagi keperluan pribadi. Penyebaran partitur musik secara ilegal hampir tidak mungkin dibatasi[7].

Hal yang mungkin dilakukan untuk mengurangi penyebaran tersebut adalah dengan memantau penyebaran, dan mencari orang yang bertanggung jawab atas penyebaran ilegal yang terjadi. Tanda-air adalah teknik yang dapat digunakan untuk membantu proses ini. Dengan menyisipkan informasi hak cipta dan sebuah *fingerprint* pada data digital, pemilik hak cipta dapat mengidentifikasi partitur yang mana yang tersebar secara ilegal, dan dapat mengetahui pelanggan yang bertanggung jawab atas penyebaran ilegal tersebut.

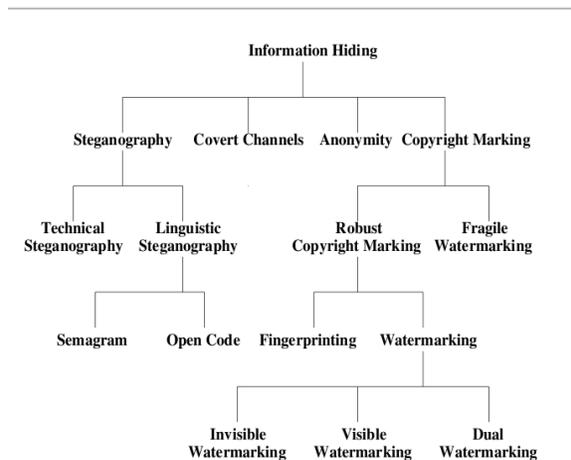


Gambar 1. Contoh Potongan Partitur Musik [5]

Partitur musik dapat direpresentasikan secara digital dalam dua bentuk. Bentuk pertama adalah sebagai berkas citra digital. Partitur musik biasa dipindai untuk mengubahnya menjadi bentuk ini. Bentuk yang kedua adalah dalam bentuk simbolik (atau disebut juga notasional), dengan cara memberikan kode tertentu untuk setiap notasi musik yang dapat muncul pada partitur musik. Bentuk dan format penyimpanan secara simbolik ini bermacam-macam, misalnya salah satu format penyimpanan yang secara *de facto* merupakan standar format penyimpanan partitur musik adalah MusicXML. Penyimpanan digital partitur musik secara simbolik telah dibahas di [8][9][10][11][12][13][14][15][16].

Teknik *watermarking* pada partitur musik digital simbolik sangat bergantung pada format penyimpanan partitur musik yang digunakan. Karena itu, teknik *watermarking* yang dibahas di sini hanya mencakup teknik *watermarking* untuk partitur musik digital yang disimpan dalam bentuk citra digital.

Pada bagian setelah ini, akan dibahas teknik penanda-airan (*watermarking*) pada umumnya. Bagian berikutnya membahas teknik penanda-airan (*watermarking*) untuk media citra digital pada umumnya, dan mengapa teknik tersebut tidak dapat dipakai untuk penanda-airan pada citra digital yang merepresentasikan partitur musik. Bagian berikutnya membahas sekilas tentang partitur musik, notasi dan simbol yang ada padanya. Bagian berikutnya membahas kriteria penilaian teknik *watermarking* pada berkas citra digital partitur musik. Selanjutnya, teknik-teknik tanda-air yang dapat dipakai untuk menyisipkan informasi pada berkas citra digital partitur musik akan diulas, dan dianalisis. Pada bagian terakhir, dipaparkan kesimpulan dari hasil analisis teknik-teknik tanda-air.



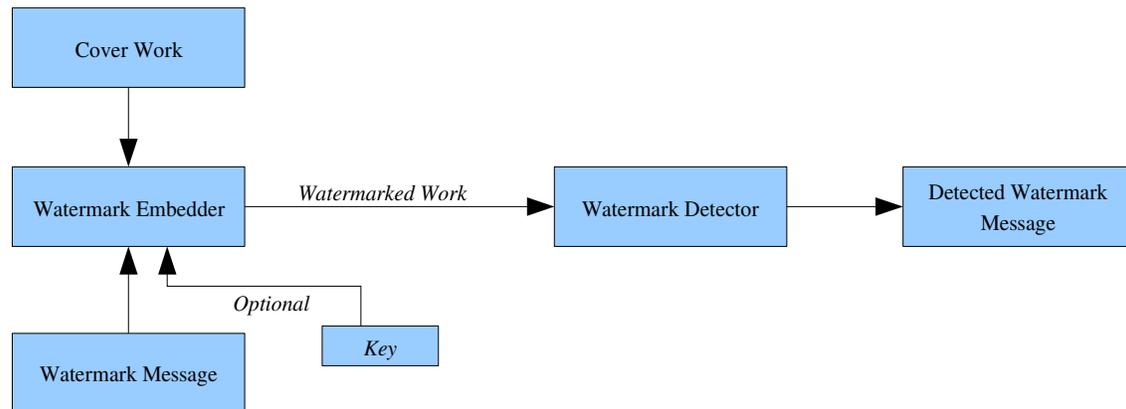
**Gambar 2. Teknik-Teknik Penyembunyian Informasi [25]**

## 2 Tanda Air (*Watermark*)



**Gambar 3. Tanda-Air (*Watermark*) "Crown & CA" Pada Perangko yang Digunakan di Koloni Inggris pada sekitar 1880 – 1920. (Sumber gambar: Wikipedia)**

Sejak zaman dahulu telah dikenal teknik proteksi untuk melindungi karya-karya, untuk memastikan bahwa karya yang didapatkan benar-benar asli, tidak dipalsukan, atau untuk memastikan kepemilikan atas karya. Salah satu cara yang umum digunakan adalah menyembunyikan informasi dengan menggunakan tanda air (*watermarking*, *watermarking* termasuk satu dari banyak teknik penyembunyian informasi – lihat Gambar 1).



**Gambar 4. Skema Umum Watermarking [6]**

Tanda air umum digunakan pada karya-karya yang tercetak. Tanda air ditambahkan dengan mencetak informasi tertentu (misalnya, logo) pada proses pencetakan kertas. Kemudian, kertas tersebut digunakan untuk menuliskan karya oleh seniman atau sastrawan. Tanda air yang ada pada kertas tersebut menjadi identifikasi bahwa karya tersebut merupakan karya mereka. Gambar 3 menunjukkan contoh tanda-air yang digunakan oleh Koloni Inggris pada perangko untuk memastikan keaslian perangko.

Saat ini, tanda air tidak dibatasi pada tanda yang dibutuhkan pada kertas saja. Tanda air saat ini berarti semua teknik penyisipan informasi pada sembarang media yang bertujuan melakukan proteksi terhadap karya yang berada pada media tersebut, baik sebagai identifikasi keaslian karya, maupun sebagai perlindungan terhadap pemalsuan.

Sejak mulai dikembangkan di Jepang tahun 1990 dan di Swiss tahun 1993 [1], tanda air digital telah berkembang sejalan dengan berkembangnya internet. Perkembangan pesat ini selaras dengan sifat karya dalam bentuk digital yang dapat dengan mudah digandakan tanpa merusak isi, serta dapat dengan mudah dimanipulasi dengan menggunakan kaskas sederhana. Dengan sifat seperti itu, karya dalam media digital sangat rawan terhadap pemalsuan

dan pelanggaran hak cipta. Ditambah lagi, dengan adanya internet, maka karya digital dapat dengan mudah disebar luaskan, sehingga semakin meningkatkan tingkat kerawanan karya terhadap pelanggaran hak cipta. Karena itu, maka diperlukan mekanisme untuk melindungi dan memproteksi karya digital agar tidak dengan mudah disalahgunakan.

Jika dilihat dari tujuannya, penanda-airan saat ini dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar. Yang pertama adalah penanda-airan yang bertujuan untuk memproteksi hak cipta. Kelompok ini terutama bertujuan agar suatu karya dapat dibatasi penyebarannya, sehingga jika ada yang melanggar hak cipta, maka kepemilikan atas karya dapat dibuktikan dengan menggunakan tanda-air yang ada pada karya. Yang kedua adalah penanda-airan yang bertujuan untuk *fingerprinting*. Yang ketiga adalah untuk melakukan penelusuran terhadap penyebaran suatu karya digital.

Saat ini banyak dikembangkan teknik-teknik *watermarking* untuk bermacam-macam media digital, dan dengan proses yang bermacam-macam. Secara umumnya, teknik tanda air (*watermarking*) mempunyai skema seperti pada Gambar 4.



**Gambar 5. Tiga Jenis Citra, (1) Citra Berwarna (2) Citra Hitam-Putih (3) Citra Biner**

Dikenal dua jenis teknik *watermarking* terkait proses deteksi, *blind* atau *informed*. *Blind detection* artinya proses deteksi tidak memerlukan media asli, sedangkan *informed detection* artinya proses deteksi pada teknik tersebut memerlukan adanya media asli (media tanpa *watermark*). Dari sisi *perceptibility*, *watermark* dapat dibagi menjadi dua, *visible* dan *invisible*. *Visible* artinya pada media hasil penyisipan *watermark*, *watermark* yang disisipkan terlihat, sedangkan *invisible* artinya *watermark* tidak terlihat. Dari sisi *robustness*, dapat dibagi menjadi *fragile*, *semi-fragile* dan *robust*. *Fragile* artinya *watermark* dapat dengan mudah hancur ketika media dimanipulasi, sedangkan *robust* artinya *watermark* yang disisipkan tahan terhadap perubahan atau manipulasi pada media.

Suatu teknik *watermarking* dinilai kualitasnya dari tingkat *perceptibility* dan *robustness*-nya. Semakin *invisible* hasil *watermarking* yang didapat, semakin baik teknik tersebut. Dan semakin *robust* suatu teknik *watermarking* terhadap perubahan, maka teknik tersebut semakin baik. Pengukuran *robustness* dan *perceptibility* untuk suatu teknik sangat bergantung pada sifat media tempat *watermark* disisipkan, dan bergantung pada kecenderungan manipulasi yang dilakukan terhadap jenis media tersebut. Selain dua kriteria tersebut, terdapat satu kriteria penting lainnya, yaitu *security* (keamanan). Suatu *watermark* dinilai bagus jika *watermark* yang disisipkan pada media tidak

dengan mudah dapat diekstrak, diubah, maupun dihilangkan oleh orang yang tidak berhak.

### 3 Teknik *Watermarking* Pada Citra Digital

Terdapat banyak teknik penanda-air (*watermarking*) pada media citra digital. Seluruh teknik tersebut menyisipkan data dengan memanfaatkan sifat penglihatan manusia yang tidak sensitif pada perubahan warna tertentu. Karena perbedaan karakteristik dan sifat dari citra digital, maka teknik-teknik tersebut dapat dibagi menjadi dua, citra berwarna atau hitam-putih (*greyscale*) dan citra biner (hitam-putih murni, tanpa abu-abu). (Lihat Gambar 5)

#### 3.1 Teknik *Watermarking* Citra Berwarna atau Citra Hitam-Putih (*Grayscale*)

Pada citra berwarna atau *grayscale*, tanda-air dapat disisipkan pada ranah frekuensi maupun pada ranah spasial. Teknik yang paling sederhana untuk menyisipkan tanda-air pada citra adalah teknik LSB, dengan menyisipkan bit-bit informasi pada LSB (*least significant bits* – bit yang paling tidak signifikan). Walaupun dari *perceptibility* teknik ini bagus karena hasilnya hampir tidak terlihat, teknik ini tidak bagus karena dari *robustness*, informasi yang tersimpan pada LSB dapat dengan mudah ditimpa oleh informasi lain sehingga informasi menjadi rusak.

Berikut ini teknik-teknik yang secara umum digunakan untuk menyisipkan *watermark* pada citra berwarna atau *greyscale* [5]:

#### 1. DCT.[17][18]

Agar *robust* terhadap kompresi JPEG atau MPEG, teknik *watermarking* yang berdasarkan pada DCT menyisipkan tanda-air pada blok-blok DCT pada ranah frekuensi. Frekuensi yang digunakan untuk menyisipkan informasi adalah frekuensi pada *midband*. Frekuensi pada *lowband* sangat dipenuhi oleh *noise*, sedangkan jika disipkan pada frekuensi *highband*, maka *watermark* yang disisipkan akan terhapus hanya dengan operasi *low or midpass filtering* standar yang banyak terdapat pada kakas pemrosesan citra standar.

#### 2. *wavelet*. [19]

Citra didekomposisi berdasarkan teorema *wavelet*. Koefisien *wavelet* yang dihasilkan digunakan untuk menyisipkan *watermark* ke dalam citra. Kompresi yang berdasarkan *wavelet* adalah bagian dari JPEG2000 [20].

#### 3. fraktal.[21]

Kemiripan bagian-bagian citra terhadap bagian-bagian lainnya digunakan untuk penyisipan tanda-air. Sebagai contoh, sepotong bagian citra dapat diubah sedemikian sehingga bagian yang paling mirip ditempatkan pada tempat tertentu.

#### 4. Generasi kedua [22][23]

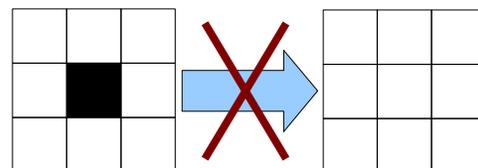
Skema *watermarking* generasi kedua mengubah citra dengan memindahkan titik-titik tegas citra (seperti titik-titik

sudut). Informasi yang disisipkan disimpan dalam bentuk perbedaan geometri yang diakibatkan oleh penggeseran titik-titik tersebut.

### 3.2 Teknik *Watermarking* Citra Biner (Hitam-Putih Murni)

Teknik tanda-air yang dipakai pada citra berwarna maupun citra *greyscale* sebagian besar akan hilang ketika citra yang diberi watermark dikonversikan dari *greyscale* ke biner. Untuk citra foto digital, hal ini tidak terlalu berarti karena sebagian besar isi citra akan hilang (Lihat Gambar 5). Untuk aplikasi yang lain, seperti citra digital partitur musik, yang pada dasarnya hanya merupakan notasi-notasi musik yang berwarna hitam di atas kertas putih, hal ini menjadi masalah.

Pada citra biner, *watermark* hanya dapat disisipkan pada ranah spasial, dengan mengubah nilai piksel citra (dari hitam jadi putih dan sebaliknya). Untuk mengurangi *visibility* dan untuk menaikkan *robustness*, piksel yang dapat diubah adalah piksel yang tidak dikelilingi oleh nilai piksel yang berkebalikan. Misalnya, jika ada piksel hitam dikelilingi piksel putih, maka piksel hitam tersebut tidak dapat dijadikan piksel untuk penyisipan (lihat Gambar 6).



**Gambar 6. Perubahan Piksel yang tidak Bisa Dilakukan pada Watermarking Terhadap Citra Biner**

Metoda penyisipan informasi pada citra biner ini diajukan oleh Zhao dan Koch [24]. Piksel yang dibalikkan isinya adalah piksel yang dekat dengan kontur, sehingga tidak terlalu terlihat.

### 3.3 Teknik Watermarking Citra Digital pada Citra Partitur Musik Digital

Teknik *watermarking* yang digunakan pada citra berwarna tidak dapat diaplikasikan terhadap partitur musik digital karena pada dasarnya citra partitur musik digital tidak berwarna (hanya hitam di atas kertas putih saja). Mungkin ada kasus dimana partitur tidak berwarna seperti itu, misalnya partitur musik yang telah cukup berumur. Kertas pada partitur musik yang sudah tua umurnya menjadi berubah warna (misalnya menjadi kekuningan), dan notasi musik yang tercetak di atasnya menjadi memudar. Ketika hasil pemindaian dari partitur tersebut didapatkan, maka warna dari partitur tidak lagi menjadi hanya 'hitam' dan 'putih', ada gradasi abu-abu. Hal ini tidak dapat dipakai sebagai acuan, karena dengan menaikkan kualitas pemindaian, maka transformasi dari *greyscale* ke citra biner dapat dilakukan dengan baik, dan menghasilkan citra biner digital partitur musik yang cukup berkualitas.

Teknik *watermarking* untuk citra biner digital seperti yang diajukan oleh Zhao dan Koch (yang mengubah piksel yang berada di dekat kontur) tidak cocok untuk citra biner digital partitur musik. Ketidakkcocokan ini dikarenakan algoritma yang diajukan tersebut akan merubah kontur, sedangkan partitur musik terdiri dari bentuk-bentuk notasi musik yang terdefinisi secara jelas. Perubahan pada kontur jika tidak hati-hati dapat menyebabkan partitur musik menjadi tidak nyaman dibaca, atau bahkan menjadi rusak. Teknik *watermarking* untuk citra biner hanya dapat dipakai jika citra digital partitur musik yang dipunyai memiliki resolusi yang besar, sehingga perubahan kontur sedikit tidak akan mempengaruhi penampilan dari bentuk notasi musik yang terkena penyisipan informasi. (Lihat bagian <<Zhao Koch>> untuk melihat bagaimana teknik Zhao dan Koch

digunakan dalam penyisipan *watermark* pada partitur musik)

## 4 Partitur Musik

Sebelum masuk ke pembahasan mengenai teknik *watermarking* pada partitur musik, perlu dijelaskan terlebih dahulu secara singkat mengenai simbol-simbol / notasi-notasi yang ada pada partitur musik.

Lihat Gambar 1 pada halaman 2. Berikut ini keterangan berbagai macam simbol yang ada pada potongan partitur tersebut:

Garis paranada. Garis ini merupakan garis acuan untuk menentukan nada.

Kunci G. Kunci ini merupakan acuan bahwa garis kedua dari garis paranada menunjukkan nada G. Selain kunci G, terdapat pula kunci F dan kunci C (tidak dibahas di sini)

Not. Satu not pada partitur menunjukkan satu nada yang dimainkan pada lagu / musik.

Not bisa bermacam-macam bentuknya, sesuai dengan panjang not tersebut. Semua 'bulatan' yang ada 'tangkainya' dan 'benderanya' melambangkan not. Biasanya simbol inilah yang paling sering muncul di sebuah partitur lagu.



**Gambar 7. Satu Bar**

Bar. Satu bar merupakan daerah yang dibatasi dua buah garis di sebelah kanan maupun kirinya. Garis pembatas bar disebut juga 'garis bar'. Garis *double bar* merupakan garis pembatas bar yang digambarkan sebagai dua buah garis.

Notasi partitur musik secara lengkapnya dapat dicari di internet dengan keyword '*music notation*'. Notasi selengkapnya tidak dibahas di sini karena memerlukan pembahasan yang cukup panjang.

## 5 Kriteria Teknik Penanda-airan (*Watermarking*) yang Baik untuk Citra Digital Partitur Musik

Kebutuhan terhadap teknik *watermarking* yang baik untuk partitur musik dalam bentuk citra digital dibentuk oleh karakteristik penggunaan partitur musik tersebut. Dengan cara seperti itulah teknik *watermarking* dapat mencapai tingkatan *robust* yang memadai untuk media partitur musik ini. Misalnya, pada saat sebuah citra partitur dicetak, kemudian difotokopi, maka hasil yang didapat kualitasnya akan berbeda secara signifikan dengan citra aslinya. Proses fotokopi menghasilkan *noise* sehingga kualitasnya menurun. Persoalan seperti ini menjadikan pendeteksian tanda-air menjadi lebih susah, dan oleh karena itu teknik tanda-air yang digunakan harus lebih kuat dan lebih tahan terhadap serangan seperti pada contoh tersebut.

Kebutuhan terhadap teknik tanda-air untuk partitur musik di bawah ini diajukan pada [26] [27], yang dikumpulkan dengan melakukan interview terhadap ahli-ahli yang tergabung pada *user group* WEDELMUSIC ([www.wedelmusic.org](http://www.wedelmusic.org)). *User group* WEDELMUSIC terdiri dari musisi, *copyist*, dan *publisher* musik.

1. Partitur musik harus didapatkan secara online dalam waktu koneksi yang terbatas.
2. Data yang disisipkan harus mengandung informasi identifikasi *publisher*, identifikasi musik (misalnya dalam bentuk ISMN—International

Standard Music Number), dan identifikasi distributor. Tanda-air yang disisipkan pada partitur musik yang tercetak harus tidak terlihat oleh musisi atau paling tidak tidak mengganggu ketika musik dimainkan.

3. Serangan untuk menghilangkan tanda-air harus mempunyai biaya yang sangat mahal dibandingkan dengan membeli partitur musik
4. Tanda-air harus tahan ketika partitur dimanipulasi sampai partitur tidak lagi terbaca. 5 tingkatan fotokopi cukup untuk membuat musik tak terbaca.
5. Tanda-air harus dapat dibaca dengan memproses bagian *piece* musik yang lebih kecil (lebih besar dari  $\frac{3}{4}$  halaman partitur musik).
6. Setelah partitur dicetak dengan sisipan tanda-air di dalamnya, hasil cetakan tersebut harus cukup *robust* untuk bertahan terhadap serangan yang paling umum.
7. Musisi menginginkan partitur musik yang bagus. *Noise* yang ditambahkan oleh teknik *watermarking* klasik terhadap citra dapat mengganggu ketika partitur musik dibaca.

Dari ke-7 poin kebutuhan di atas, dapat disimpulkan tiga buah karakteristik yang harus dipenuhi oleh teknik tanda-air pada berkas partitur musik:

1. *Invisibility*: Tanda-air yang disisipkan pada partitur musik harus tidak dapat terlihat oleh musisi, dan tidak mengganggu proses pembacaan partitur musik, serta proses memainkan musik.

2. Kapasitas: teknik tanda-air harus mempunyai kapasitas yang cukup besar untuk menyimpan informasi yang dibutuhkan: identifikasi *publisher*, identifikasi musik (misalnya dalam bentuk ISMN), dan identifikasi distributor
3. *Robustness*: tanda-air yang tersisipkan dalam berkas partitur harus kuat terhadap serangan-serangan yang mungkin terjadi. Serangan yang terjadi dapat disengaja maupun tidak disengaja. Serangan yang disengaja didefinisikan sebagai percobaan untuk menghilangkan tanda-air, sedangkan serangan yang tidak disengaja, tujuannya hanya untuk menyalinnya (misalnya dengan menggunakan mesin fotokopi)

## 6 Teknik Watermarking Untuk Partitur Musik

Teknik *watermarking* terhadap partitur musik yang bekerja pada aspek tampilan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu yang berbasis piksel dan yang berbasis simbol. Selain kedua kategori tersebut, terdapat tambahan kategori, yaitu teknik *watermarking* yang bekerja pada aspek notasi dari partitur. Setelah ketiga kategori tersebut, terakhir akan dibahas teknik yang memakai pendekatan lain untuk menyisipkan *watermark* pada berkas partitur musik.

### 6.1 Teknik Watermarking Berbasis Piksel

Teknik *watermarking* partitur musik berbasis piksel bekerja dengan melakukan perubahan piksel citra biner yang merepresentasikan partitur musik. Berikut ini dibahas teknik *watermarking* yang berdasar pada teknik Zhao dan Koch [7]

#### 6.1.1 Teknik Watermarking Zhao dan Koch

Koch dan Zhao membagi rata citra menjadi blok-blok berukuran 8x8 dan sedikit mengubah perbandingan piksel-piksel yang berwarna hitam dan putih pada satu blok untuk melakukan penyisipan satu bit informasi pada setiap blok. Lokasi blok yang digunakan untuk *watermarking* dipilih secara *pseudo-random* dari semua blok yang dapat dipilih. Tingkat kemunculan  $P_1(b)$  piksel hitam pada blok  $b$  didefinisikan sebagai:

$$P_1(b) = N_1 \frac{(b)}{n_b}$$

Dimana  $N_1(b)$  adalah jumlah piksel pada blok, dan  $n_b$  adalah besar bloknya.

Nilai bit '0' disisipkan pada blok  $b$  jika  $P_1(b)$  lebih besar dari nilai ambang batas  $t_{upper}$ . Nilai bit '1' disisipkan pada blok  $b$  jika  $P_1(b)$  lebih kecil dari nilai ambang batas lain  $t_{lower}$ . Penyisipan suatu nilai bit tertentu dilakukan dengan cara mengubah beberapa piksel dalam blok tersebut sampai tingkat  $P_1(b)$  menjadi di dalam batasan (*range*)  $\lambda$ . Nilai  $t_{upper}$ ,  $t_{lower}$ , maupun *range*  $\lambda$  merupakan parameter yang diberikan, bukan merupakan nilai yang tetap.  $\lambda$  dapat dilihat sebagai parameter pengatur *robustness*.

Dua strategi modifikasi diusulkan oleh Zhao dan Koch sesuai dengan distribusi piksel hitam dan putih pada suatu blok:

- Pada blok yang ter-*dither*, dimana piksel hitam dan putih tersebar dengan baik, perubahan yang dilakukan disebar merata di seluruh bagian blok tersebut.
- Pada blok yang 'tajam' dimana batas hitam dan putih terlihat jelas, perubahan

dilakukan pada perbatasan antara piksel hitam dan putih

Dalam kasus partitur musik, citra biner yang diolah termasuk dalam kasus yang kedua (citra biner 'tajam').

Proses ekstraksi tanda-air adalah dengan membalikkan proses penyisipan tanda-air. Nilai bit yang disembunyikan dalam suatu blok ditentukan dengan cara:

- nilai bit '0':

$$P_1(b) \geq t_{upper}$$

- nilai bit '1':

$$P_1(b) \leq t_{lower}$$

Teknik dasar Koch dan Zhao tersebut disesuaikan dengan karakteristik partitur musik dengan cara:

- Koch dan Zhao hanya memakai sebagian kecil blok yang ada pada citra. Dengan memakai sebanyak mungkin blok yang dapat dipakai, *robustness* dan *invisibility* dapat ditingkatkan.
- Tidak semua blok sesuai untuk menyisipkan tanda-air. Karena itu, untuk *watermarking* pada partitur musik dipilih nilai-nilai sebagai berikut:  $t_{lower} = 40$  dan  $t_{upper} = 60$ , dan hanya memakai blok-blok dengan tingkat piksel hitam di antara 25% s/d 75%.
- Ukuran blok yang digunakan sebaiknya 4x4 atau 8x8.

Dengan menggunakan algoritma Koch dan Zhao, semua simbol yang ada pada partitur musik terkena pengaruh pengubahan piksel. Untuk simbol-simbol musik pada partitur musik, efek



Gambar 8. Aplikasi teknik Koch dan Zhao untuk menyisipkan watermark pada citra partitur musik

ini sangat mengganggu bagi para musisi. Untuk itu, maka teknik Koch dan Zhao ini hanya dijalankan terhadap garis paranada yang ada pada partitur musik. Sebelum dijadikan masukan ke teknik Koch dan Zhao, suatu citra biner partitur musik diekstrak garis paranadanya, kemudian garis paranada tersebut lah yang

disisipi informasi dengan menggunakan teknik Koch dan Zhao. Setelah informasi tersisipkan, maka garis paranada hasil penyisipan digabungkan kembali dengan simbol-simbol musik lainnya.

Gambar 8 menampilkan hasil penyisipan tanda-air dengan menggunakan Koch dan Zhao dengan berbagai cara dan parameter. Dari atas ke bawah:

1. Citra asli hasil pemindaian dan transformasi *grayscale* menjadi citra biner.
2. Hasil Koch dan Zhao dengan ukuran blok=4

3. Hasil Koch dan Zhao dengan ukuran blok=8
4. Hanya pada garis paranada, dengan ukuran blok=4
5. Hanya pada garis paranada, dengan ukuran blok=8

Terlihat pada gambar, hasil penyisipan (2) dan (3) mengakibatkan simbol-simbol musik menjadi rusak (menjadi susah dibaca). Dengan menggunakan pendekatan garis paranada, maka yang menjadi sedikit rusak adalah garis paranada, dan hal itu tidak menjadi masalah bagi para musisi.

Analisis terhadap metoda Koch dan Zhao dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Terhadap 'Koch dan Zhao'

Kriteria	Analisis
<i>Invisibility</i>	Jika teknik Koch dan Zhao ini diaplikasikan pada garis paranada saja, maka teknik ini dapat dikatakan cukup <i>invisible</i> (tidak merusak partitur musik)
Kapasitas	Kapasitas pada teknik Koch dan Zhao ditentukan seberapa besar citra dan ukuran blok yang dipakai. Tetapi secara umum, kapasitas teknik ini cukup besar dibandingkan dengan ukuran citra.
<i>Robustness</i>	Teknik ini tidak cukup kuat terhadap beberapa masalah berikut ini: <ul style="list-style-type: none"> <li>● perubahan resolusi citra</li> <li>● operasi piksel</li> <li>● penskalaan gambar</li> <li>● serangan dengan menghapus baris atau kolom dari gambar</li> </ul>

## 6.2 Teknik Watermarking Berbasis Simbol

Teknik penanda-airan ini bekerja dengan dasar perubahan properti simbol mempunyai pengaruh yang cukup kecil terhadap persepsi musisi, sehingga pada perubahan tersebut dapat disisipi informasi tanda-air. Teknik penyisipan pada properti seperti ini juga dikenal dalam *watermarking* terhadap teks, dengan menambah spasi, mengubah jenis huruf, mengubah ukuran huruf, dll. Pada kasus partitur musik, perubahan properti yang dapat dilakukan adalah [28]:

- Perubahan terhadap satu garis paranada (perubahan jarak antara garis paranada)
- Perubahan terhadap jarak vertikal antara satu baris lagu dengan baris lagu berikutnya
- Modifikasi terhadap garis bar (juga garis *double bar* maupun jenis-jenis garis bar lainnya). Modifikasi ini bisa dilakukan pada aspek: kemiringan dari garis bar dan ketebalan.



Gambar 9. Contoh Penyisipan Tanda Air Dengan Memiringkan Not-Not Terhadap Contoh Partitur Musik pada Gambar 1 [5]



Gambar 10: Contoh Penyisipan Tanda Air Dengan Mengubah Jarak Antar Beberapa Not Terhadap Contoh Partitur Musik pada Gambar 1 [5]

- Perubahan terhadap simbol-simbol musik. Aspek yang dapat diubah adalah:
    - Posisi. Simbol musik yang dapat dipindahkan posisinya adalah: *dot* (simbol-simbol titik, misalnya titik penanda *stacatto*)
    - Posisi vertikal: *ornaments*
    - Posisi horizontal: *accidentals*, *meter*, *notes*, *rests* (tanda aksidental, meter, not-not, dan tanda istirahat)
    - Ketebalan: *beams*, *slurs*, *ties*
    - Panjang: *baseline* (paranada), *note stem* (tiang not), panjang relatif bar
    - Sudut: *clef*, *beam*, *note (stem)*, *chord*, sudut mula dari simbol-simbol dinamis, sudut relatif dari tanda istirahat 1/4 dan 1/8.
    - Bentuk (*stretching*), *clef*, *note head*
- Untuk setiap simbol yang diubah, ada *trade off* yang harus dipertimbangkan antara *robustness* dan kapasitas. Sebagai contoh, perubahan diantara garis-garis paranada melibatkan banyak piksel tetapi informasi yang dapat disisipkan terbatas. Beberapa perubahan susah untuk dideteksi oleh pendeteksi tanda-air. Sebagai contoh, posisi horizontal dari sebuah not sangat tergantung pada posisi not-not lain. Jika sebuah not dihilangkan oleh penyerang, maka informasi yang disimpan akan hilang. Sehingga, perubahan seperti itu tidak dapat dipakai untuk pendeteksian tanda-air secara buta (*blind*)

detection). Tabel 2 Memerlihatkan analisis kriteria teknik tanda-air terhadap teknik watermarking yang berbasis properti simbol.

Teknik penyisipan tanda-air dengan mengubah properti simbol-simbol / notasi-notasi musik yang terdapat pada partitur musik ini secara umum bekerja seperti pada Gambar 12 (terletak di hlm. 14)

Contoh hasil penyisipan tanda-air pada partitur musik dengan menggunakan teknik ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Terlihat pada dua gambar tersebut bagaimana jenis perubahan yang dipilih sangat menentukan hasil watermarking yang didapat.

Tabel 2. Analisis Terhadap Teknik Watermarking yang Berbasis Properti Simbol

Kriteria	Analisis
Invisibility	Sangat tergantung pada properti dan perubahan yang dipilih. Beberapa properti dapat dengan mudah terlihat hasil watermarknya, sementara properti lainnya sangat sulit dibedakan oleh manusia.
Kapasitas	Kapasitas yang dapat disimpan dengan teknik ini sangat terbatas, karena bit-bit informasi yang disimpan masing-masing disimpan dalam satu perubahan properti, jadi sangat boros.
Robustness	Bergantung pada

### 6.3 Teknik Watermarking yang Bekerja Pada Aspek Notasi.

Teknik-teknik yang sebelumnya dibahas bekerja pada aspek citra dari partitur musik. Pada partitur musik digital, terdapat aspek lain yang

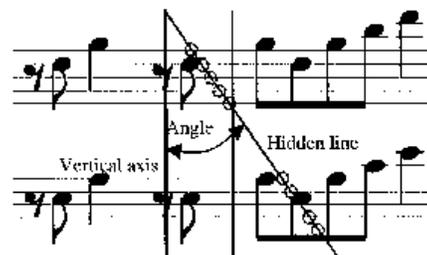
dapat disisipi informasi, yaitu aspek notasi musik itu sendiri. Misalnya, dengan mengubah sebuah not  $\frac{1}{2}$  menjadi dua buah not  $\frac{1}{4}$  yang disambungkan, atau misalnya menambahkan satu bar kosong pada awal atau akhir partitur, atau memecah sebuah tanda istirahat menjadi dua buah tanda istirahat.

Walaupun cara ini tidak merubah musik yang direpresentasikan, tetapi cara ini tidak dapat diimplementasikan karena musisi akan melihat perbedaannya. Perbedaan yang diakibatkan oleh perubahan seperti ini tidak dapat ditolelir oleh musisi. Musisi mengharapkan partitur yang asli, yang tidak diubah walaupun perubahan tersebut tidak merubah musik yang direpresentasikan.

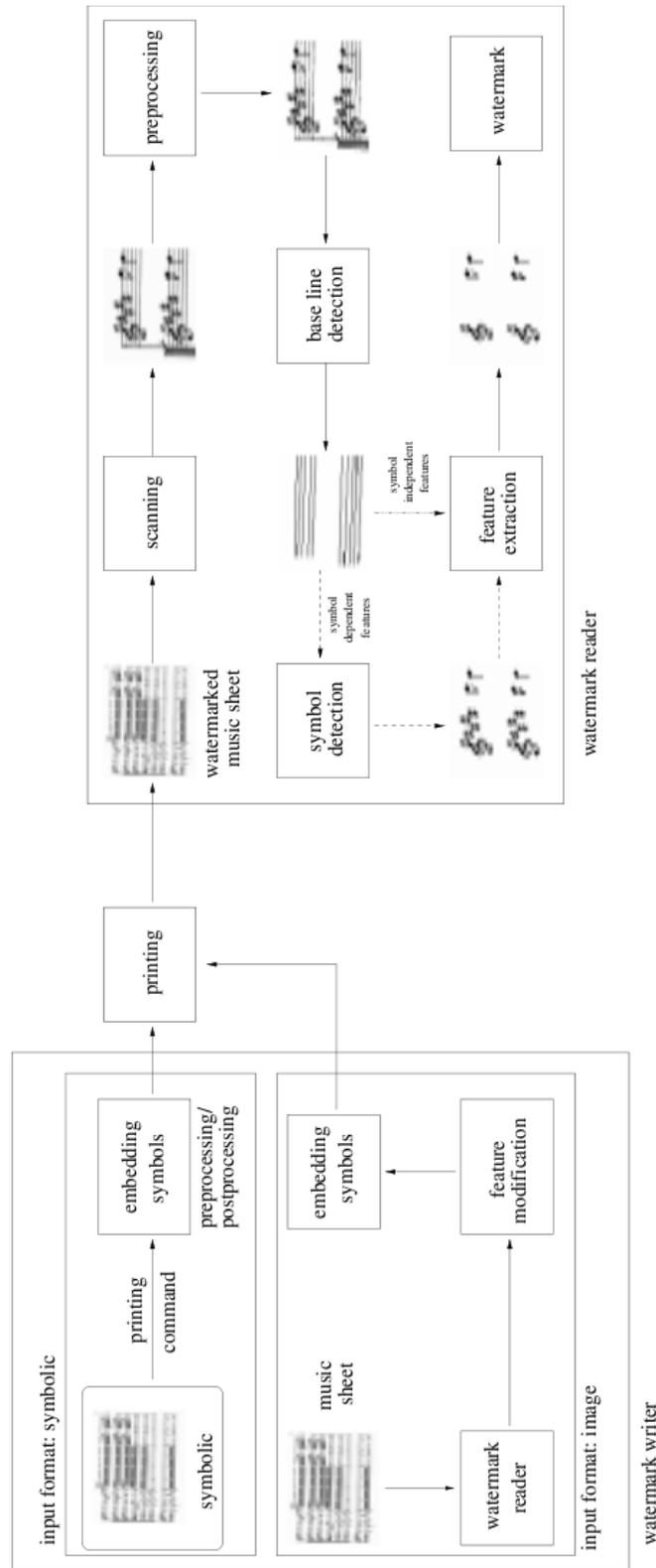
### 6.4 Teknik Watermarking yang Menggunakan Pendekatan Lain

Selain pendekatan-pendekatan penyisipan informasi yang telah dibahas, terdapat pendekatan-pendekatan lain untuk menyisipkan informasi pada partitur musik. Salah satunya adalah teknik yang dikenal dengan nama 'Lines Mask'. Teknik ini dikembangkan karena perubahan properti simbol musik hanya dapat menampung data dalam jumlah kecil [26].

Teknik ini bekerja dengan menempatkan garis-garis bayangan melintang melintasi garis paranada. Titik potong antara garis bayangan tersebut dengan garis paranada diberi tanda tertentu, misalnya dengan memotong garis paranada tepat pada titik potong tersebut (Lihat Gambar 11).



Gambar 11: Teknik Line Mask [26]



Gambar 12. Skema Penyisipan dan Pembacaan Tanda-air dengan Perubahan Pada Aspek Simbol Musik [28]

Ekstraksi watermark dilakukan dengan tiga tahap. Pertama, dilakukan pencarian titik-titik yang membentuk garis, yang tersembunyi pada garis-garis paranada. Kemudian, mencari titik awal dari setiap garis yang tersembunyi. Tahap terakhir adalah mencari titik-titik yang terhubung ke garis. Informasi lebih lanjut mengenai Lines Mark dapat dilihat di [26].

## 7 Kesimpulan

Beberapa teknik penyisipan tanda-air pada partitur musik yang dibahas memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing dilihat dari tiga kriteria, *invisibilty*, kapasitas, dan *robustness*. Tidak menutup kemungkinan di masa yang akan datang ditemukan teknik penyisipan tanda-air pada partitur musik yang lebih baik dari teknik-teknik tersebut.

Semua teknik-teknik yang dibahas mempunyai satu kelemahan yang diakibatkan oleh kebutuhan *invisibility*. Memang kebutuhan inilah yang merupakan kebutuhan terpenting. Jika penyisipan yang dilakukan ke partitur musik menyebabkan partitur menjadi rusak, dan tidak dapat dibaca lagi, maka proses tersebut dikatakan gagal, tidak dapat diperhitungkan sebagai teknik *watermarking*. Karena sifatnya inilah, maka seluruh teknik yang ada dapat dengan mudah digagalkan (tanda-air yang tersisip dihilangkan) dengan menggunakan OMR (*Optical Music Recognition*) [4].

Dengan menggunakan OMR, seseorang dapat mengekstraksi partitur dari citra digital partitur tersebut menjadi partitur dalam representasi simbolik. OMR akan mengabaikan tanda-air yang ada pada citra digital partitur musik tersebut, karena dianggap sebagai *noise* pada citra partitur musik. Dengan begitu, tanda-air yang semula terkait pada citra partitur musik akan langsung hilang, dan jika orang tersebut mencetak kembali partitur musik yang dihasilkan, maka dia akan mendapatkan salinan

partitur musik yang sama, tanpa tanda-air di dalamnya.

Untungnya, OMR yang ada pada saat ini belum mencapai taraf dapat mengekstraksi keseluruhan partitur musik dari citra digitalnya. Walaupun begitu, perkembangan OMR saat ini menunjukkan bahwa tidak lama lagi hal tersebut dapat terjadi. Solusi yang dapat dilakukan adalah membentuk suatu badan khusus yang meregulasi penyebaran partitur musik, dan membuat aturan bahwa semua OMR yang ada harus mendeteksi keberadaan tanda-air pada berkas partitur yang akan diolah, dan menolak untuk melakukan ekstraksi jika partitur mengandung tanda-air.

Teknik ini perlu dikembangkan lebih lanjut, karena penyebaran partitur melalui internet sudah merupakan kebutuhan yang mendesak. Selama ini, para musisi dengan mudah memfotokopi partitur musik secara ilegal. Survey pada tahun 2000 menunjukkan bahwa alasan utama mengapa penyalinan partitur musik sering dilakukan adalah karena kesulitan akses ke partitur musik [29]:

- 86% mengaku menyalin (memfotokopi) partitur musik.
- 18% menyalin partitur musik karena alasan finansial.
- 80% menyalin partitur musik karena ketiadaan partitur musik.

Dengan media distribusi internet, maka permasalahan kesulitan akses ini akan tertanggulangi.

## Daftar Referensi

- [1] R. Munir. "Bahan Kuliah IF5054 Kriptografi". Departemen Teknik Informatika. Institut Teknologi Bandung. 2004

- [2] M. Schmucker, "Using Musical Features For Watermarking Music Scores". <http://www.igd.fraunhofer.de/igda8/syscop/Publications/>
- [3] C. Busch, P. Nesi, M. Schmucker, M. Spinu, "Evolution of Music Score Watermarking Algorithm". <http://www.igd.fraunhofer.de/igda8/syscop/Publications/>
- [4] M. Campanai, P. Nesi, M. B. Spinu, "Watermarking Music Sheets, it is possible?"
- [5] M. Schmucker, C. Busch, A. Pant, "Digital watermarking for the protection of music scores", Proc. SPIE Vol. 4314, Security and Watermarking of Multimedia Contents III, p. 85-95
- [6] A. M. Cretu, M. Fouad, "Study of Digital Watermarking for Multimedia"
- [7] M. Schmucker, "High Capacity Information Hiding in Music Scores" Wedelmusic 2001. Florence, 24-25 November, 2001.
- [8] G. Assayag, D. Timis. "Computer Printing, Storage, and Transfer of Musical Scores." Proceedings of the 1987 International Computer Music Conference, 298-301. San Francisco: Computer Music Association, 1987.
- [9] "A Music-Workstation Based on Multiple Hierarchical Views of Music." Proceedings of the 1988 International Computer Music Conference, 56-65. San Francisco: Computer Music Association, 1988.
- [10] "Representing Musical Scores for Computer Analysis." Journal of Music Theory 30 (1986): 225-75.
- [11] D. Byrd. "Music Notation by Computer." Ph.D. diss., Indiana University, 1984. DA8506091.
- [12] D. Cope. "Computers and Musical Style." Computer Music and Digital Audio Series #6. Madison, Wisconsin: A-R Editions, 1991. MT723 C68 C6 1991
- [13] "Music Representation Issues, Techniques, and Systems." Computer Music Journal 17/3 (1993): 20-30.
- [14] "A Structure for Representing, Displaying, and Editing Music." Proceedings of the 1986 International Computer Music Conference, 153-60. San Francisco: Computer Music Association, 1986.
- [15] W. B. Hewlett. "The Representation of Musical Information in Machine-Readable Format." Directory of Computer Assisted Research in Musicology 1987. Menlo Park: Center for Computer Assisted Research in the Humanities, 1987. 1-22.
- [16] "Precis of the Standard Music Description Language." Proceedings of the 1989 International Computer Music Conference, 296-302. San Francisco: Computer Music Association, 1989.
- [17] E. Koch, J. Zhao. "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling", Proc. of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, Neos Marmaras, Greece, June 20-22, pp. 452-455, 1995.
- [18] C. Busch, W. Funk, S. Wolthusen. "Digital Watermarking: From Concepts to Real-Time Video Applications", IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 25-35, January/February, 1999.
- [19] H. Inoue, A. Miyazaki, T. Katsura. "An Image Watermarking Method Based On The Wavelet Transform", ICIP-99, 1999.
- [20] "JPEG 2000". <http://www.jpeg.org/JPEG2000.htm>

- [21] J. Puate, F. Jordan. "Using fractal compression scheme to embed a digital signature into an image", SPIE-96 Proceedings, 1996
- [22] M. J. J. B. Maes, C. W. A. M. C. van Overveld, "Digital Watermarking by Geometric Warping", Proceedings of the International Conference on Image Processing (PCIP), volume 1, 1998
- [23] M. Kutter, S. K. Bhattacharjee, T. Ebrahimi. "Towards Second Generation Watermarking Schemes", 6th International Conference on Image Processing (ICIP'99), Kobe, Japan, Vol. 1, 25-28 Oktober, 1999
- [24] E. Koch, J. Zhao. "Embedding robust labels into images for copyright protection", Proceeding of the Internation Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies, Vienna, Austria, 1995.
- [25] S. P. Mohanty. "Digital Watermarking: A Tutorial Review"
- [26] M. Monsignori, P. Nesi, M. B. Spinu. "A High Capacity Technique for Watermarking Music Sheets while Printing"
- [27] S. T. Oskuii, Lin Li, B. Mesgarzadeh, "Watermarking for image and audio", Intellectual Property Project
- [28] C. Busch, E. Rademer, M. Schmucker, S. Wolthusen. "Concepts for an Watermarking Technique for Music Scores"
- [29] J. Ironsa, M. Schmuckerb. "Fingerprinting of Music Scores", Proceedings of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents VI, 2004, Vol. 5306.